INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores

Cristina de Vilhena Veludo Choon Chai

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Co-orientador: Doutor Pedro Manuel dos Santos Lima Gaspar

Vogal: Doutor Pedro Vaz Paulo

Maio de 2011

Título: Previsão de vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores

Nome: Cristina de Vilhena Veludo Chai

Mestrado em: Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Co-orientador: Professor Doutor Pedro Manuel dos santos Lima Gaspar

SUMÁRIO

Nas últimas décadas, Portugal viu envelhecer o seu parque habitacional, com particular incidência nos centros urbanos, atingindo elevados graus de degradação. Numa sociedade de recursos escassos para intervenções de manutenção, o estudo da durabilidade assume-se como uma área determinante no sector da construção, permitindo uma gestão racional e planificada dos recursos existentes. A existência de ferramentas que permitam a previsão do ciclo de vida dos vários componentes da construção constitui assim um vector essencial na área da manutenção do património edificado.

Nesta perspectiva, a presente dissertação apresenta um contributo para o estudo da durabilidade, constituindo um trabalho exploratório de uma metodologia desenvolvida para a previsão de vida útil de pinturas, uma das soluções de revestimento mais correntes em Portugal, particularmente susceptíveis à degradação, afectando a qualidade do espaço público e a imagem das cidades. A investigação é baseada na recolha de dados de campo, referentes ao levantamento do estado de deterioração de edifícios em serviço, e posterior conversão em índices numéricos de quantificação da degradação global, integrados em modelos matemáticos (obtidos por regressão simples não-linear / linear e regressão múltipla linear) que expressam a deterioração dos elementos considerados ao longo do tempo, em função de diferentes factores de degradação analisados. Os modelos obtidos permitem assim a identificação de um padrão de degradação de pinturas e de uma vida útil de referência.

Durante esta investigação, foram inspeccionados 160 edifícios referentes a 220 revestimentos por pintura, independentemente da sua tipologia construtiva. As inspecções realizadas tiveram o propósito de pôr em prática a metodologia desenvolvida, permitindo avaliar a sua capacidade em fornecer ferramentas analíticas para o estudo do ciclo de vida de pinturas e a respectiva estimativa de vida útil.

PALAVRAS-CHAVE: Vida útil, Durabilidade, Modelos de degradação, Inspecções, Pinturas de fachadas

Title: Methodology for service life prediction of external paint finishes (on rendered façades)

ABSTRACT

An increasing number of cases of poor maintenance of buildings have been recently reported in Portugal. In a society of limited resources for infrastructure maintenance, the study of durability provides a means for the optimization of the investments in the construction industry. The existence of service life prediction methodologies is essential to adopt rational and sustainable management strategies and define maintenance plans.

This research presents and applies a method for service life prediction of façade paint finishes, the most common solutions in external building envelopes in Portugal. This methodology is based on fieldwork assessment of buildings in real-life service conditions and the results thus obtained are converted into degradation indicators from which the overall degradation level over time can be derived. The degradation models (through simple non-linear and multiple linear regression) provide durability information, such as degradation patterns and a reference service life, as a function of different degradation factors.

During this analysis, 160 buildings (corresponding to 220 coatings) in the city of Lisbon were inspected, regardless of their construction typology. These visual surveys were used in order to apply the proposed methodology and evaluate its ability to provide suitable quantitative tools to predict the service life of external paint finishes.

KEY WORDS: Service life, Durability, Degradation models, Building inspections, Façade paint finishes

Agradecimentos

As primeiras palavras expressam o meu agrado no desenvolvimento de todas as fases deste trabalho que me permitiu explorar uma área que considero tão fascinante na construção e concluir, por agora, estes anos no Instituto Superior Técnico, instituição tão prestigiada, onde tive a oportunidade de confirmar a validade da minha opção profissional.

Agradeço a todos quantos, através do exemplo e da competência, despertaram em mim o ideal de conciliar o rigor científico com o sentido dinâmico da Engenharia Civil.

Especialmente, um por um.

Ao Professor Jorge de Brito, exemplo de motivação e capacidade de trabalho, o meu agradecimento por tudo o que me transmitiu. Pela competência e espírito frontal, interesse e empenho aliados a uma invulgar dedicação à investigação, fica ao longo deste trabalho a minha profunda admiração.

Ao Professor Pedro Gaspar, testemunho, com privilégio, o seu envolvimento prestigiante no desenvolvimento de um tema que considero determinante. Agradeço por ter lançado em mim a capacidade de vencer obstáculos, os conselhos e os incentivos, as ideias e o conhecimento, o espírito dinâmico.

À Engenheira Isabel Romão, Presidente da Associação Portuguesa dos Técnicos de Tintas, que me inseriu no mundo tão vasto das tintas, pela amizade.

À Engenheira Isabel Eusébio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pela disponibilidade e partilha de conhecimento teórico e prático, sem as quais não teria sido possível realizar este trabalho.

À Engenheira Conceição Batista da Matesica, pela preocupação, pelo apoio incansável e pela intrínseca capacidade em ajudar.

À Doutora Martha Tavares do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, ao Professor João Bordalo e à Engenheira Ana Silva pela informação teórica tão relevante, sobretudo numa fase inicial em que tudo era ainda abstrato.

Ao Engenheiro Domingos Gomes da Dyrup, ao Engenheiro Rui Vanine da Stimpre, à Engenheira Fernanda Oliveira da CIN, por me terem cedido dados tão relevantes e por reconhecerem a importância da ligação entre a investigação académica e o mundo empresarial.

À minha mãe Maria João, ao meu pai António, à minha irmã Maria, por serem o meu exemplo de trabalho, de ética, de estabilidade. Hoje e sempre, são a base de tudo e o meu porto seguro.

Não esquecerei também outros grandes Professores que me ensinaram e muitos amigos que sempre me apoiaram.

Aos meus avós maternos, que ficarão para sempre na minha memória, dedico este trabalho.

Índice geral

Capítulo 1 ..... **1**

1.1 Considerações iniciais 1

1.2 Âmbito e antecedentes do trabalho proposto 2

1.3 Objectivo e metodologia da dissertação 4

1.4 Enquadramento geral do tema 5

1.4.1 Teorias de vida útil 6

1.4.1.1 Conceito e critérios de análise de vida útil 6

1.4.1.2 Fim da vida útil 7

1.4.1.3 Influência da manutenção na vida útil 8

1.4.2 Procedimento geral de previsão de vida útil 8

1.4.3 Metodologias de recolha de dados 10

1.4.3.1 Metodologias de curto prazo 10

1.4.3.2 Metodologias de longo prazo 11

1.4.4 Metodologias de previsão de vida útil 12

1.4.4.1 Modelos determinísticos 13

1.4.4.2 Modelos estocásticos 19

1.4.4.3 Modelos de engenharia 19

1.4.5 Ferramenta económica LCC 19

1.4.6 Enquadramento normativo para a estimativa da vida útil das construções 20

1.4.6.1 British guide to durability of building elements, products and components - Reino Unido 20

1.4.6.2 Principal guide for service life planning of buildings - Japão 21

1.4.6.3 A norma ISO 21

1.4.6.4 Regulamento Geral das Edificações 21

1.4.6.5 Outros documentos normativos 22

1.5 Organização do trabalho 23

Capítulo 2 ..... **25**

2.1 Introdução 25

2.2 Âmbito do trabalho 26

2.3 Características gerais das tintas 27
2.3.1 Definições 27
2.3.2 Composição das tintas 28
2.3.2.1 Veículo fixo 28
2.3.2.2 Solvente 29
2.3.2.3 Pigmentos 30
2.3.2.4 Cargas 30
2.3.2.5 Aditivos 31
2.3.3 Principais parâmetros de uma tinta 31
2.3.4 Tipos de produtos 33
2.3.4.1 Produtos existentes 34
2.3.4.2 Classificação adoptada 35
2.3.5 Tipo de suporte 44
2.3.6 Sistema de pintura 45
2.3.7 Tecnologia de aplicação em obra 46
2.3.7.1 Preparação da superfície 46
2.3.7.2 Processos e condições de aplicação 47
2.4 Características gerais de revestimentos por pintura 49
2.4.1 Formação da película seca 49
2.4.2 Exigências funcionais a cumprir pelos revestimentos por pintura 51
2.4.3 Propriedades dos revestimentos por pintura 52
2.4.3.1 Impermeabilidade à água 53
2.4.3.2 Flexibilidade, elasticidade e dureza 53
2.4.3.3 Compatibilidade e aderência ao suporte 54
2.4.3.4 Resistência às acções externas 54
2.4.3.5 Aspecto decorativo pretendido 55
2.4.4 Factores que afectam a durabilidade 55
2.4.5 Selecção do revestimento 56
2.5 Identificação e descrição de anomalias em revestimentos por pintura 57
2.5.1 Perda de continuidade 57
2.5.1.1 Fissuração 58

2.5.1.2 Irregularidades particulares 59
2.5.1.3 Manchas de humidade 59
2.5.1.4 Manchas de origem biológica 61
2.5.1.5 Alterações de cor e brilho 62
2.5.1.6 Retenção de sujidade 63
2.5.1.7 Eflorescências 64
2.5.1.8 *Graffiti* 65
2.5.2 Perda de coesão dos constituintes: pulverulência 65
2.5.3 Perda de aderência 66
2.5.3.1 Empolamento 66
2.5.3.2 Destacamento 67
2.6 Factores de degradação em revestimentos por pintura 68
2.6.1 Factores ambientais 69
2.6.1.1 Acção da água 69
2.6.1.2 Acção da temperatura 70
2.6.1.3 Acção da radiação solar 70
2.6.1.4 Acção do vento 71
2.6.2 Composição do produto de pintura 71
2.6.3 Erros de projecto e execução 71
2.6.4 Características gerais do edifício 72
2.6.4.1 Tipo de envolvente 72
2.6.4.2 Orientação da fachada 73
2.6.4.3 Altura do edifício 73
2.6.4.4 Idade 74
2.6.5 Factores acidentais, causas fortuitas e vandalismo 74
2.7 Conclusões 74

Capítulo 3 77

3.1 Introdução 77
3.1.1 Objectivos do trabalho de campo 77
3.1.2 Metodologia de investigação 78

3.1.3 Organização do trabalho de campo 80
3.2 Selecção da amostra 81
3.2.1 Critérios adoptados na selecção da amostra 81
3.2.2 Fontes consultadas 82
3.2.3 Critérios adoptados na selecção dos factores condicionantes 83
3.3 Metodologia de recolha e registo de dados 84
3.3.1 Interesse do levantamento visual 84
3.3.2 Ficha de inspecção e diagnóstico 85
3.3.2.1 Informação constante na ficha de inspecção e diagnóstico 85
3.3.2.2 Dificuldades na recolha de informação e exclusão de casos de estudo 87
3.4 Classificação e definição dos níveis de degradação 89
3.4.1 Classificação das anomalias 89
3.4.2 Níveis de degradação das anomalias 90
3.4.2.1 Enquadramento e normalização 91
3.4.2.2 Definição dos níveis de degradação (adoptados no trabalho de campo) 95
3.5 Levantamento e caracterização da amostra 103
3.5.1 Caracterização das construções analisadas 103
3.5.2 Caracterização das zonas estudadas 104
3.5.2.1 Proximidade do mar 105
3.5.2.2 Humidade 106
3.5.2.3 Acção vento / chuva 107
3.5.2.4 Proximidade de fontes poluentes 108
3.5.3 Caracterização dos revestimentos inspeccionados 109
3.5.4 Caracterização das anomalias detectadas 112
3.5.4.1 Frequência das anomalias consideradas 112
3.5.4.2 Grau de severidade das anomalias 115
3.6 Conclusões 118

Capítulo 4 121
4.1 Introdução 121
4.2 Objectivos e metodologia adoptada 121

4.3 Influência de alguns parâmetros nas curvas de degradação 122
4.3.1 Factores de degradação 123
4.3.2 Mecanismos de degradação 124
4.3.3 Espectro de idades 125
4.4 Estado limite de vida útil de revestimentos por pintura 126
4.5 Proposta de modelo de quantificação da condição de fachadas pintadas 128
4.5.1 Modelo de Gaspar [2002] 128
4.5.2 Modelo de Gaspar [2009] 132
4.5.2.1 Área degradada ponderada - A_w 133
4.5.2.2 Extensão da degradação - E 134
4.5.2.3 Extensão da degradação ponderada - E_w 136
4.5.2.4 Severidade da degradação normalizada - S_w 139
4.5.2.5 Ponderação relativa entre anomalias 139
4.5.2.6 Relação entre severidade e condição 143
4.5.2.7 Distribuição da amostra em função dos indicadores de degradação, com ponderação entre anomalias 145
4.6 Análise dos resultados através de regressão simples linear e não-linear 146
4.6.1 Modelo de degradação geral 146
4.6.2 Degradação global por tipo de anomalia 148
4.6.3 Influência dos factores condicionantes 150
4.6.3.1 Influência da humidade 150
4.6.3.2 Influência da proximidade do mar 151
4.6.3.3 Influência da proximidade de fontes poluentes 152
4.6.3.4 Influência da acção vento-chuva 152
4.6.3.5 Influência da orientação solar 153
4.6.3.6 Influência do tipo de produto 154
4.6.3.7 Influência da cor do revestimento 155
4.6.3.8 Influência da textura do revestimento 155
4.6.3.9 Influência da proximidade do rio 156
4.6.3.10 Influência da preparação da superfície 156
4.7 Vida útil de referência estimada pelo modelo de regressão simples não-linear 157
4.8 Análise de resultados através de regressão múltipla linear 159

4.8.1 Pressupostos do modelo e métodos de verificação 160
4.8.1.1 Análise de resíduos 160
4.8.1.2 Análise da existência de multicolinearidade 162
4.8.2 Selecção e construção do modelo 162
4.8.3 Interpretação de resultados 164
4.8.3.1 Significância global do modelo 164
4.8.3.2 Significância de cada parâmetro considerado e coeficientes de regressão 167
4.8.3.3 Estatística de regressão 170
4.8.3.4 Verificação dos pressupostos do modelo 171
4.8.4 Considerações finais referentes ao modelo de regressão múltipla linear 175
4.9 Vida útil de referência estimada pelo modelo de regressão múltipla não-linear 176
4.10 Enquadramento com a investigação de Gaspar [2009] 177
4.11 Conclusões 178

Capítulo 5 181
5.1 Considerações finais 181
5.2 Conclusões gerais 182
5.2.1 Conclusões parciais 182
5.2.2 Conclusões relativas ao modelo proposto 189
5.3 Desenvolvimentos futuros 190
5.3.1 Melhoria na recolha de informação 191
5.3.2 Desenvolvimentos relativos à quantificação da degradação global 191
5.3.3 Método factorial 192

Bibliografia 195

Índice de figuras

Capítulo 1 ..... **1**

Figura 1.1 - Incidência de anomalias por elemento construtivo (esquerda) e efeitos no desempenho (direita) 1

Figura 1.2 - Enquadramento geral do tema de estudo 3

Figura 1.3 - Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os mínimos aceitáveis, com identificação daquela que condiciona o fim da vida útil 7

Figura 1.4 - Influência das actividades de manutenção no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis 8

Figura 1.5 - Procedimento geral das metodologias de previsão de vida útil de materiais e componentes de construção, com indicação do procedimento adoptado no presente trabalho 9

Figura 1.6 - Andamento geral de uma curva de Gompertz 17

Figura 1.7 - Andamento geral de uma curva potencial 18

Figura 1.8 - Andamento geral de uma curva de Weibull 18

Capítulo 2 ..... **25**

Figura 2.1 - Percentagem por tipo de revestimento exterior em edifícios em Portugal 25

Figura 2.2 - Representação esquemática dos constituintes de uma tinta 28

Figura 2.3 - Alongamento máximo da tinta em percentagem em função do PVC. 32

Figura 2.4 - Mercado de tintas em Portugal em função do PVC, em 2003 33

Figura 2.5 - Principais tipos de produtos existentes para rebocos exteriores 35

Figura 2.6 - Percentagens por tipo de tintas utilizadas em edifícios na Alta de Coimbra 36

Figura 2.7 - Percentagens por tipo de tintas utilizadas em edifícios em intervenções de reabilitação em Portugal 36

Figura 2.8 - Tintas mais utilizadas em rebocos exteriores 36

Figura 2.9 - Classificação adoptada no trabalho de campo 37

Figura 2.10 - Tinta de emulsão corrente (×5000) 40

Figura 2.11 - Tinta de resinas de silicone (×5000) 40

Figura 2.12 - Comparação do tamanho das partículas de dispersões aquosas tradicionais (à esquerda) e de pliolite (à direita) 41

Figura 2.13 - Estrutura de uma tinta de nanocompósitos (×40000) 41

Figura 2.14 - Classificação de tintas aquosas segundo a permeabilidade ao vapor e à impermeabilidade à água 43

Figura 2.15 - Processo de secagem e endurecimento de tintas de emulsão referidas 50

Figura 2.16 - Processo de secagem e endurecimento de tintas de resinas de hidro-pliolite..... 50

Figura 2.17 - Percentagem de anomalias por elemento em que ocorrem 57

Figura 2.18 - Anomalias do tipo fissuração..... 58

Figura 2.19 - Anomalia do tipo bicos de alfinete (×100), escorridos e crateras (da esquerda para a direita)..... 59

Figura 2.20 - Anomalias do tipo manchas de humidade..... 60

Figura 2.21 - Anomalias do tipo manchas de origem biológica 61

Figura 2.22 - Anomalias do tipo alterações de cor e brilho em revestimentos por pintura..... 62

Figura 2.23 - Anomalias do tipo retenção de sujidade em revestimentos por pintura 63

Figura 2.24 - Anomalias do tipo eflorescências em revestimentos por pintura 64

Figura 2.25 - Anomalia do tipo *graffiti* em revestimentos por pintura 65

Figura 2.26 - Anomalias do tipo pulverulência em revestimentos por pintura..... 66

Figura 2.27 - Anomalias do tipo empolamento em revestimentos por pintura 67

Figura 2.28 - Anomalias do tipo destacamento em revestimentos por pintura..... 68

Capítulo 3 77

Figura 3.1 - Registo fotográfico e representação esquemática (esquisso) da fachada, com indicação da localização das anomalias, da respectiva condição e a marcação de notas escritas complementares..... 79

Figura 3.2 - Reprodução da fachada L160.1, à escala, em Autocad 2010..... 80

Figura 3.3 - Registo fotográfico e alçado da fachada L121.2 em ficheiro do tipo CAD 80

Figura 3.4 - Representação esquemática das diferentes etapas do trabalho de campo 81

Figura 3.5 - Distribuição da amostra em função das fontes consultadas..... 83

Figura 3.6 - Padrões visuais de referência de dimensão 3 e quantidade 2, 3, 4 e 5 93

Figura 3.7 - Padrões visuais de referência de dimensão 5 e quantidade 2, 3, 4 e 5 93

Figura 3.8 - Padrões visuais de referência para designação da quantidade de fissuração sem direcção preferencial (quantidades 1, 2, 3, 4 e 5)..... 94

Figura 3.9 - Padrões visuais de referência para designação da quantidade de descamação sem direcção preferencial (quantidades 1, 2, 3, 4 e 5)..... 95

Figura 3.10 - Representação esquemática de tipo de levantamento realizado..... 97

Figura 3.11 - Distribuição da amostra em termos da função predominante dos edifícios (à esquerda) e da sua volumetria geométrica (à direita) 104

Figura 3.12 - Distribuição da amostra relativamente à função predominante dos edifícios e ao número de pisos elevados 104

Figura 3.13 - Distribuição da amostra em função do concelho 105

Figura 3.14 - Distribuição da amostra em função da proximidade do mar, em número de casos (esquerda) e em percentagem de casos (direita) 106

Figura 3.15 - Humidade relativa do ar em média às 9 T.M.G., em Portugal continental (período da série cronológica: 1931-1960) 106

Figura 3.16 - Distribuição da amostra em função da exposição à humidade (esquerda) e em função da proximidade do rio (direita) 107

Figura 3.17 - Distribuição da amostra em função da acção vento / chuva 107

Figura 3.18 - Sistema de classificação da orientação solar das fachadas analisadas 108

Figura 3.19 - Distribuição da amostra em função da exposição solar 108

Figura 3.20 - Distribuição da amostra em função da proximidade de fontes poluentes, em número de casos (esquerda) e em percentagem de casos (direita) 109

Figura 3.21 - Distribuição dos revestimentos inspeccionados em função da idade no que se refere ao número de casos (esquerda) e às respectivas percentagens (direita) 110

Figura 3.22 - Distribuição dos revestimentos em função do tipo de produto de pintura (esquerda) e distribuição dos produtos de pintura dentro das tintas lisas (direita) 110

Figura 3.23 - Distribuição dos revestimentos em função do brilho 110

Figura 3.24 - Distribuição dos revestimentos em função da cor 111

Figura 3.25 - Distribuição da amostra em função do tipo de acabamento 111

Figura 3.26 - Número de anomalias detectadas em cada grupo (esquerda) e frequência de cada grupo de anomalias no total de anomalias detectadas (direita) 113

Figura 3.27 - Incidência de fachadas com cada um dos grupos de anomalias consideradas 113

Figura 3.28 - Número de anomalias detectadas 114

Figura 3.29 - Frequência de cada anomalia no total de anomalias detectadas 114

Figura 3.30 - Incidência de fachadas com cada uma das anomalias consideradas 114

Figura 3.31 - Distribuição das anomalias detectadas pelo nível de degradação 116

Figura 3.32 - Distribuição das anomalias por cada nível de degradação 116

Figura 3.33 - Distribuição dos níveis de degradação para cada grupo de anomalias 117

Figura 3.34 - Distribuição dos níveis de degradação para as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas 118

Capítulo 4 121

Figura 4.1 - Curvas de degradação correspondentes aos padrões de degradação 123

Figura 4.2 - Padrão de degradação correspondente aos fenómenos discretos..... 124

Figura 4.3 - Probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de anomalia em função da idade..... 125

Figura 4.4 - Frequência de ocorrência de graffiti consoante a idade do revestimento 125

Figura 4.5 - Determinação da vida útil esperada através da definição de um nível mínimo de aceitação..... 127

Figura 4.6 - Nuvem de pontos e curva de degradação obtidos pela aplicação do método de Gaspar [2002]..... 131

Figura 4.7 - Distribuição da amostra em função da extensão de degradação, dividida em quatro categorias: extensão de degradação menor do que 100%, entre 100 e 150%, entre 150 e 200% e maior do que 200% 136

Figura 4.8 - Distribuição da amostra em função da extensão de degradação ponderada, dividida em quatro categorias: extensão de degradação ponderada menor do que 400%, entre 400 e 500%, entre 500 e 600% e maior do que 600%..... 137

Figura 4.9 - Severidade da degradação normalizada dos 220 casos de estudo, sem ponderação relativa entre anomalias..... 141

Figura 4.10 - Severidade da degradação normalizada dos 220 casos de estudo, com ponderação relativa entre anomalias..... 141

Figura 4.11 - Comparação da severidade da degradação normalizada dos casos de estudo com menos de 5 anos: sem ponderação (à esquerda) e com ponderação (à direita) 141

Figura 4.12 - Relação entre severidade e nível de degradação 144

Figura 4.13 - Distribuição da amostra em função da extensão ponderada, considerando sete intervalos..... 145

Figura 4.14 - Distribuição da severidade dos 220 casos de estudo em cinco intervalos de deterioração correspondentes aos níveis 0, 1, 2, 3 e 4..... 145

Figura 4.15 - Distribuição da amostra em função da severidade, considerando os cinco intervalos 146

Figura 4.16 - Distribuição da amostra em função dos cinco níveis de condição 146

Figura 4.17 - Curvas de degradação (linear e polinomial) obtidas a partir dos 220 casos de estudo..... 147

Figura 4.18 - Extensão da degradação associada a cada anomalia 148

Figura 4.19 - Severidade da degradação associada a cada anomalia 149

Figura 4.20 - Curvas de degradação em função da exposição à humidade..... 151

Figura 4.21 - Curvas de degradação em função da proximidade do mar 151

Figura 4.22 - Curvas de degradação em função da proximidade de fontes poluentes 152

Figura 4.23 - Curvas de degradação em função da acção vento-chuva 153

Figura 4.24 - Curvas de degradação em função da orientação da fachada 153

Figura 4.25 - Curvas de degradação em função do tipo de produto 154

Figura 4.26 - Curvas de degradação em função da cor do revestimento 155

Figura 4.27 - Curvas de degradação em função da textura do revestimento 156

Figura 4.28 - Curvas de degradação em função da proximidade do rio, para os casos situados em Lisboa..... 156

Figura 4.29 - Curvas de degradação em função da preparação da superfície 157

Figura 4.30 - Determinação gráfica da vida útil de referência 158

Figura 4.31 - *Normal P-P Plot*: os pontos encontram-se situados em torno de uma recta 161

Figura 4.32 - *Normal Q-Q Plot*: os pontos encontram-se situados em torno de uma recta 161

Figura 4.33 - Distribuição dos resíduos em função da variável dependente ou de uma variável independente..... 161

Figura 4.34 - Distribuição de Snedecor correspondente a (p, n - p - 1) graus de liberdade e representação esquemática da região crítica e das probabilidades α e p 167

Figura 4.35 - Distribuição de t de Student correspondente a (n - p - 1) graus de liberdade e representação esquemática da região crítica e das probabilidades α/2 e p/2 168

Figura 4.36 - Gráfico *Normal P-P Plot* do modelo (obtido no PASW)..... 172

Figura 4.37 - Distribuição dos resíduos em função da variável independente x_1 (idade) 173

Figura 4.38 - Distribuição dos resíduos-padrão em função da variável independente x_1 (idade)..... 173

Figura 4.39 - Modelo de degradação de rebocos 177

Figura 4.40 - Representação esquemáticas das intervenções em rebocos e em pinturas, ao longo do tempo..... 178

Índice de tabelas

Capítulo 1 1

Tabela 1.1 - Principais origens de anomalias nos edifícios (em percentagem) 14

Tabela 1.2 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as características intrínsecas das pinturas 15

Tabela 1.3 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as condições ambientais a que se encontra exposto o revestimento 15

Tabela 1.4 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as condições de uso e as acções de manutenção das pinturas 15

Tabela 1.5 - Valores da vida útil expectável (ESL) de revestimentos por pintura (tinta plástica), consoante o tipo de manutenção de que são alvo 16

Tabela 1.6 - Normas da série ISO 15686 22

Capítulo 2 25

Tabela 2.1 - Avaliação comparativa qualitativa do comportamento de tintas de emulsão segundo algumas propriedades e características 38

Tabela 2.2 - Avaliação do comportamento de alguns tipos de tintas aquosas segundo as suas propriedades e características 43

Tabela 2.3 - Exigências funcionais de revestimentos de paredes 51

Tabela 2.4 - Principais anomalias em paredes exteriores 57

Tabela 2.5 - Causas prováveis de anomalias do tipo fissuração 58

Tabela 2.6 - Fissuras não consideradas neste trabalho 59

Tabela 2.7 - Causas prováveis de anomalias do tipo irregularidades particulares 60

Tabela 2.8 - Causas prováveis de anomalias do tipo manchas de colonização biológica 61

Tabela 2.9 - Causas prováveis de anomalias do tipo alterações de cor e brilho 62

Tabela 2.10 - Causas prováveis de anomalias do tipo retenção de sujidade 64

Tabela 2.11 - Causas prováveis de anomalias do tipo eflorescências 65

Tabela 2.12 - Causas prováveis de anomalias do tipo pulverulência 66

Tabela 2.13 - Causas prováveis de anomalias do tipo empolamento 67

Tabela 2.14 - Causas prováveis de anomalias do tipo destacamento 68

Tabela 2.15 - Principais factores de degradação em revestimentos por pintura 69

Tabela 2.16 - Erros de projecto e execução em revestimentos por pintura 72

Tabela 2.17 - Factores de degradação consoante o tipo de envolvente 73

Tabela 2.18 - Factores acidentais, causas fortuitas e vandalismo 74

Capítulo 3 77

Tabela 3.1 - Decomposição dos factores de degradação em variáveis, identificáveis no trabalho de campo 84

Tabela 3.2 - Informação constante na primeira parte da ficha de inspecção e diagnóstico 86

Tabela 3.3 - Escala para designação da quantidade de defeitos 92

Tabela 3.4 - Escala para designação da dimensão dos defeitos 92

Tabela 3.5 - Escala para designação da intensidade das alterações 92

Tabela 3.6 - Escala para designação da quantidade de fissuração 94

Tabela 3.7 - Escala para designação da dimensão da fissuração 94

Tabela 3.8 - Escala para designação da quantidade de descamação 94

Tabela 3.9 - Escala para designação da dimensão da descamação 95

Tabela 3.10 - Escala para designação da quantidade de pulverulência 95

Tabela 3.11 - Definição dos níveis de degradação das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas 98

Tabela 3.12 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo fissuração 100

Tabela 3.13 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo pulverulência 101

Tabela 3.14 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo perda de aderência 102

Tabela 3.15 - Valor do coeficiente de absorção solar em função da cor dos revestimentos 111

Capítulo 4 121

Tabela 4.1 - Relação entre o nível de degradação e o factor multiplicativo (k) 129

Tabela 4.2 - Significado físico de cada nível global de degradação 129

Tabela 4.3 - Resumo dos níveis gerais de degradação para revestimentos com idade igual ou inferior a 6 anos 131

Tabela 4.4 - Resumo dos níveis gerais de degradação para revestimentos com idade igual ou superior a 15 anos 131

Tabela 4.5 - Comparação de três situações de degradação distintas 135

Tabela 4.6 - Exemplos de sobreposição de anomalias em revestimentos por pintura 135

Tabela 4.7 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência simultânea de todas as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas na totalidade da fachada 137

Tabela 4.8 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de fissuração na totalidade da fachada 137

Tabela 4.9 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de empolamentos na totalidade da fachada 137

Tabela 4.10 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de pulverulência na totalidade da fachada 137

Tabela 4.11 - Ponderações relativas entre anomalias, correspondentes aos dois cenários (C1 e C2) 140

Tabela 4.12 - Comparação da severidade ponderada normalizada nos dois cenários estudados, referentes aos casos em que o modelo sem ponderação não traduzia a realidade física 142

Tabela 4.13 - Correspondência entre severidade e condição 144

Tabela 4.14 - Casos de estudo no ou perto do limite de vida útil (severidade da ordem de 20%) 144

Tabela 4.15 - Identificação dos subfactores e categorias consideradas, para cada factor estudado do método factorial 150

Tabela 4.16 - Caso de estudo com coordenadas (10; 20%) 158

Tabela 4.17 - Estatística d e valores críticos da tabela de Durbin-Waston 162

Tabela 4.18 - Valores adoptados na conversão de variáveis qualitativas em quantitativas 164

Tabela 4.19 - Tabela Anova do modelo de regressão múltipla linear (Parte 1): análise global da significância do modelo de regressão 167

Tabela 4.20 - Tabela Anova do modelo de regressão múltipla linear (Parte 2): coeficientes de regressão e análise individual da significância de cada coeficiente de regressão 168

Tabela 4.21 - Estatística de regressão do modelo obtido 171

Tabela 4.22 - Análise da existência de outliers (*Casewise diagnistics* no PASW) 173

Tabela 4.23 - Resultado d de Durbin-Watson do modelo obtido 174

Tabela 4.24 - Valores críticos de Durbin-Watson do modelo obtido 174

Tabela 4.25 - Matriz de correlações entre variáveis do modelo obtido 175

Tabela 4.26 - Valor do VIF (*variance inflactor factor*) para cada variável explicativa do modelo obtido 175

Tabela 4.27 - Matriz de correlação bivariada entre os factores de degradação analisados 175

Capítulo 5 181

Tabela 5.1 - Vida útil prevista consoante os factores de degradação considerados 188

Tabela 5.2 - Factores de ajustamento 189

Capítulo 1

Introdução

1.1 Considerações iniciais

O parque edificado em Portugal, apesar de relativamente recente comparativamente com os de outros países europeus, apresenta sinais evidentes de degradação [Lanzinha et al., 2006]. De acordo com dados estatísticos, 38.1% dos edifícios necessitam de reparação, sendo que 12.2% têm menos de 10 anos [INE, 2001].

A presente situação deve-se ao processo de envelhecimento dos materiais e componentes, que se inicia logo após a conclusão da obra, consistindo numa perda de desempenho das construções. Esta perda, que se manifesta em níveis cada vez mais elevados ao longo do tempo, traduz-se na incapacidade dos edifícios acolherem os usos para os quais foram projectados ou na existência de problemas, avarias ou falhas [Gaspar, 2009], manifestados pelo aparecimento de anomalias.

Investigações realizadas em Inglaterra pelo Building Research Establishment (BRE) identificaram as principais anomalias que se manifestam nos edifícios, tendo estas sido agrupadas segundo o tipo de elemento em que ocorrem e de acordo com os seus efeitos no desempenho das edificações (Figura 1.1). Embora existam outros estudos estatísticos, estes resultados são coerentes com os estudos da Agence Qualité Construction, realizados em França.

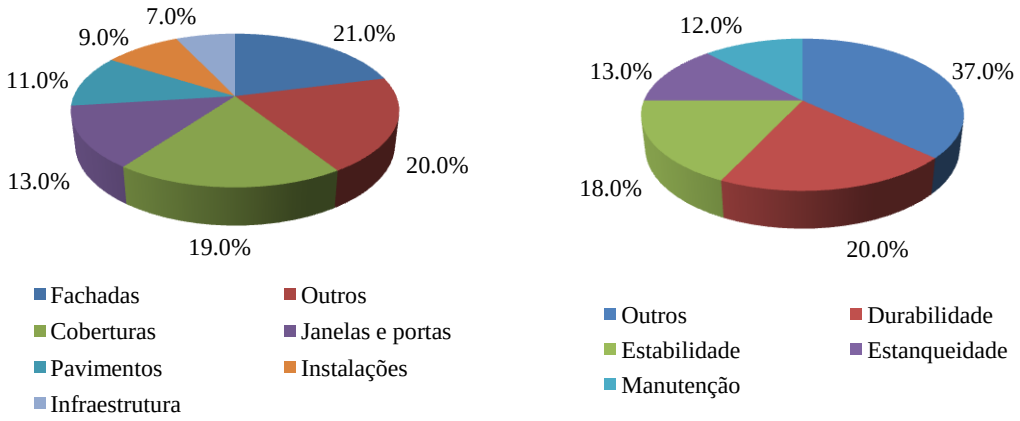


Figura 1.1 - Incidência de anomalias por elemento construtivo (esquerda) e efeitos no desempenho (direita) [adaptado de Watt, 1999]

As fachadas são assim os elementos mais afectados por manifestações patológicas, representando 20% do total das anomalias detectadas. Os defeitos responsáveis pela diminuição da durabilidade e pelo aumento da necessidade de acções de manutenção do parque edificado representam, por si só, 49% do total. Relativamente ao património imobiliário português, Paiva [2003] refere que este apresenta problemas de

degradação construtiva e funcional, em certos casos de alguma gravidade, devidos ao reduzido investimento na sua manutenção periódica ao longo de várias décadas e a erros e atropelos que têm sido cometidos no processo de construção.

A necessidade de recuperar e revitalizar o parque habitacional nacional (que alguns autores defendem ser urgente [Pinto, 2003]) passa pela aplicação de medidas gerais, inseridas em verdadeiras políticas de manutenção [Flores e Brito, 2003a].

Numa conjuntura em que os recursos financeiros existentes para intervenções de manutenção do património edificado são muito limitados [Garrido, 2010], torna-se necessário planear temporalmente a ocorrência desses investimentos que podem mesmo ultrapassar o investimento inicial, tendo sido estimados entre 50 e 90% do custo total por diversos autores [Burati et al., 1992], [Love e Li, 2000], [Bragança et al., 2001].

Desta forma, um dos factores principais em qualquer programa de manutenção é a existência de ferramentas que permitam a previsão do ciclo de vida e a definição de padrões de degradação dos vários componentes da construção [Shohet et al., 2003], permitindo comparar os custos de estratégias com diferentes vidas úteis.

1.2 Âmbito e antecedentes do trabalho proposto

Na sequência dos elevados custos associados à exploração e à manutenção dos edifícios e da crescente preocupação dos diferentes intervenientes na construção relativamente à durabilidade, surgiram estudos com o propósito de avaliar a degradação e o ciclo de vida útil na construção. O grande impulso ao nível de métodos de previsão de vida útil é o Método Factorial, elaborado pelo Architectural Institute of Japan [AIJ, 1993], traduzido e proposto pelo documento normativo (The English Edition of) Principal Guide for Service Life Planning of Buildings e, mais tarde, adoptado como metodologia proposta pela norma ISO 15686, que pretende uma abordagem mais sistemática da estimativa de vida útil das construções. Actualmente, apesar de existirem diversas abordagens, os métodos factoriais são os que se afiguram como mais operacionais e para os quais existem mais dados disponíveis.

Dentro dos elementos da construção, a fachada ou a envolvente vertical desempenha um papel considerável no comportamento global do edifício e na valorização do espaço envolvente [Flores e Brito, 2003c], assim como na protecção do espaço interior, relativamente à agressão dos agentes exteriores e climáticos [Pinto, 2003]. De acordo com Teo et al. [2005], os custos relativos à manutenção das fachadas representam uma percentagem significativa dos custos de intervenção em edifícios, sendo a pintura, de acordo com o INE [2001], o revestimento com maior prevalência em Portugal. Desta forma, a escolha deste material decorre da importância que esta solução construtiva tem no contexto nacional e internacional. Apesar da sua grande difusão como revestimento exterior, diversos trabalhos têm demonstrado a grande recorrência de anomalias em pinturas, sendo este um elemento particularmente sensível à degradação.

O presente trabalho insere-se assim no estudo da durabilidade das construções, focando a análise na vida útil de pinturas. Constitui uma primeira aproximação à aplicação do método factorial ao caso específico do elemento considerado, enquadrando-se na metodologia representada simplificadamente na Figura 1.2 que tem por objectivo - embora fora do âmbito desta investigação - a estimativa do custo de ciclo de vida dos revestimentos, através da aplicação da ferramenta económica LCC (Life Cycle Cost) de apoio à decisão, que contabiliza os custos actualizados. Actualmente, qualquer análise económica relacionada com o investimento ou a sua amortização na construção só poderá ser feita se se determinar um horizonte de tempo que limite as projecções desejadas, independentemente de se tratar de edifícios existentes ou novos.

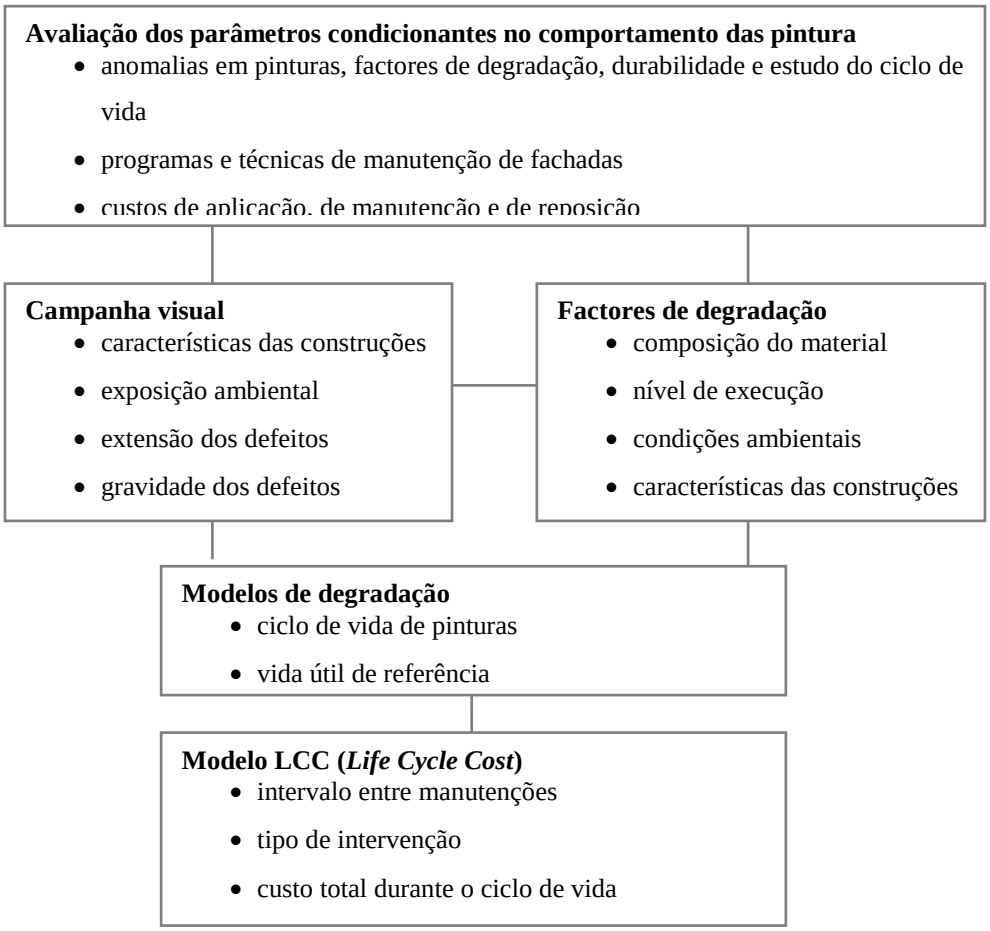

Avaliação dos parâmetros condicionantes no comportamento das pintura
anomalias em pinturas, factores de degradação, durabilidade e estudo do ciclo de vida
programas e técnicas de manutenção de fachadas
custos de aplicação, de manutenção e de reposição
Campanha visual
características das construções
exposição ambiental
extensão dos defeitos
gravidade dos defeitos
Factores de degradação
composição do material
nível de execução
condições ambientais
características das construções
Modelos de degradação
ciclo de vida de pinturas
vida útil de referência
Modelo LCC (Life Cycle Cost)
intervalo entre manutenções
tipo de intervenção
custo total durante o ciclo de vida

Figura 1.2 - Enquadramento geral do tema de estudo [adaptado de Teo et al., 2005 e Flores e Brito, 2003c]

Esta dissertação insere-se na linha de investigação que tem vindo a ser desenvolvida no Instituto Superior Técnico, onde há a destacar os seguintes trabalhos:

- Gaspar, P. (2002), Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 203 p.

- Silvestre, J. (2005), Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 172 p.

- Neto, N. (2008), *Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 194 p.

- Sousa, R. (2008), Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 130 p.

- Gaspar, P. (2009), Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes, Tese de Doutoramento em Ciências da Engenharia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 330 p.

- Silva, A. (2009), Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 140 p.

1.3 Objectivo e metodologia da dissertação

O principal objectivo da dissertação consiste no desenvolvimento e na aplicação de uma metodologia para a previsão de vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores, pretendendo-se avaliar a sua capacidade em fornecer ferramentas que permitam a obtenção de uma vida útil de referência, em função de diferentes factores de degradação. A investigação é baseada na recolha de dados de campo e o respectivo levantamento realizado através de inspecções visuais. A presente investigação assume-se assim como um trabalho exploratório de novas metodologias para o estudo da vida útil de pinturas, no âmbito de operações correntes de gestão e manutenção de edifícios.

A metodologia proposta baseia-se na recolha de informação relativa ao comportamento de elementos da construção, em condições reais de utilização e de exposição, através de inspecções visuais e posterior modelação da informação, realizada no contexto do parque edificado de Lisboa e baseada no levantamento de 220 revestimentos. Através desta, pretende-se reunir dados concretos no âmbito do estudo da vida útil das construções com o fim último de permitir modelar o comportamento destas no tempo.

Os objectivos propostos são alcançados de acordo com os seguintes passos:

- caracterização das propriedades do componente em estudo e identificação dos fenómenos e factores de degradação associados ao material considerado (capítulo 2);

- quantificação e definição dos níveis de condição associados aos fenómenos identificados, permitindo auxiliar os trabalhos de recolha de informação de campo (capítulo 3);

- elaboração de metodologia de recolha de informação de campo, de registo e de quantificação das anomalias detectadas (capítulo 3);

- combinação da informação relativa às anomalias detectadas num único indicador que traduza o nível global de degradação do elemento considerado e permita a identificação do padrão de degradação deste ao longo do tempo (capítulo 4);

- especificação dos níveis mínimos de aceitação para o componente considerado (capítulo 4);

- identificação de vidas úteis de referência, baseadas nos modelos matemáticos desenvolvidos, obtidos através de regressão simples não-linear e múltipla linear (capítulo 4).

1.4 Enquadramento geral do tema

A previsão de vida útil de materiais e componentes da construção é uma preocupação relativamente recente na investigação ligada à indústria da construção, sendo que a consciência da importância da durabilidade começou a surgir nos anos 60 nas nações mais desenvolvidas. A abordagem sistemática do problema da durabilidade, com vista a obter dados que permitam fazer previsões de vida útil, apenas começou a ganhar relevância na década de 80.

De acordo com Garrido [2010], o aumento de interesse nesta temática foi, de certa forma, impulsionado por uma maior preocupação política e social com o conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Desta forma, tão importante como o investimento inicial são as despesas de desempenho global das edificações: consumo energético, custos de manutenção, capacidade de deterioração ou níveis de poluição relacionados com a construção, o uso e a demolição das edificações.

Um vector de actuação na procura desta sustentabilidade corresponde a um aumento do ciclo de vida das construções, exigindo que a durabilidade seja uma preocupação presente nas fases de projecto, de execução e de exploração do património Tal implica um planeamento cuidadoso e detalhado das necessidades de manutenção, requerendo o controlo dos materiais e recursos económicos necessários durante o seu ciclo de vida do espaço construído, de forma a este ser gerido de um modo o mais económico possível [Daniotti et al., 2007].

Para tal, a previsão de vida útil dos materiais e componentes do património construído assume grande importância, de forma a se alcançar maior longevidade - tornando o investimento mais rentável - e permitindo uma correcta selecção, uso e manutenção destes [Masters et al., 1987]. Só desta forma é possível que o planeamento das acções de manutenção ao longo do ciclo de vida seja realizada em função dos mecanismos de degradação reais dos materiais e componentes da construção, tendo em conta os factores de degradação e as decorrentes vidas úteis expectáveis.

1.4.1 Teorias de vida útil

O conceito de vida útil, os seus critérios de análise e os critérios que ditam o seu fim já foram exaustivamente abordados por diversos autores [Gaspar, 2002], [Matos, 2007], [Bordalo, 2008], [Silva, 2009], [Gaspar, 2009], [Garrido, 2010], interessando apenas fazer-se uma breve descrição de forma a enquadrar o tema de estudo proposto.

1.4.1.1 Conceito e critérios de análise de vida útil

A vida útil não é um valor absoluto, sendo que sua determinação implica a definição das exigências ou requisitos de desempenho pretendidos para um determinado material ou componente. Definidos esses requisitos, Garrido [2010] define a vida útil como o período de tempo, após a instalação, durante o qual o componente é capaz de cumprir satisfatoriamente os requisitos que lhe são impostos. Por outras palavras, a vida útil de um material é o período de tempo durante o qual este consegue igualar ou exceder um determinado nível mínimo de desempenho.

Apesar da relativa simplicidade do conceito de vida útil, esta é extremamente difícil de prever ou simular através de modelos pois depende da definição de critérios de aceitação, variáveis em função da época, do lugar, do avaliador e, de facto, de todo o contexto social, económico, político, estético, ambiental ou normativo que enquadra o julgamento sobre a construção [Gaspar, 2009].

Tendo em conta a complexidade do comportamento das construções (ou, de facto, das suas partes constituintes) ao longo do tempo e a relatividade do conceito de vida útil, a maioria dos estudos sobre a durabilidade das construções adopta um método analítico, segundo o qual o problema é subdividido e analisado de acordo com duas ou mais categorias diferenciadas, nomeadamente deterioração física, desempenho económico e obsolescência funcional [Gaspar, 2002]. Cada uma destas dimensões encontra-se desenvolvida em trabalhos anteriores, fazendo-se apenas uma curta abordagem no âmbito da presente investigação.

A vida útil física corresponde ao período de tempo durante o qual o edifício ou parte dele se mantém num nível requerido de adequação às exigências que lhes são colocadas ou que permita acolher e responder a novos usos, sem sofrer desgaste físico irreversível para além de uma manutenção corrente ou de investimentos equivalentes ao custo de reposição do elemento [Gaspar, 2002], [Gaspar e Brito, 2003b]. A degradação física dos materiais deve-se essencialmente à acção dos agentes de degradação (sejam eles físicos, químicos ou mecânicos) e à acção do tempo (envelhecimento natural). Os aspectos relacionados com a física das construções são geralmente os mais fáceis de quantificar e aqueles nos quais se têm centrado a maioria da investigação sobre a durabilidade.

A vida útil funcional corresponde ao período de tempo durante o qual uma construção permite a sua utilização, independentemente do fim para que foi concebida, sem obrigar a alterações generalizadas [Davies e Szigeti, 1999]. A obsolescência é definida por Sarja [2004] como sendo a incapacidade do edifício ou das suas partes de satisfazerem a evolução funcional, económica e cultural ou as exigências ecológicas; de facto, muitas vezes, a obsolescência apenas reflecte a inutilidade, no momento actual, de determinado edifício ou componente, mesmo que este se encontre em boas condições funcionais. A

obsolescência funcional ocorre quando um elemento da construção pode ser substituído por outro que desempenhe a mesma função de forma semelhante ou melhor.

O conceito de ciclo de vida económico de uma construção coloca-se sempre que se analisa o desempenho do edifício enquanto instrumento, isto é, um bem que gera e consome recursos ao longo da sua vida útil [Santos, 2000]. Assim, ainda que um edifício mantenha a sua integridade física (acima dos níveis mínimos de desempenho), por vezes sucede ser economicamente inviável a sua manutenção, por exemplo pela insuficiência dos rendimentos gerados ou pela existência de alternativas mais rentáveis de ocupação do espaço associado à construção [Gaspar e Brito, 2004]. De acordo com Brito [2001], a definição do fim da vida útil de uma construção é na realidade muitas vezes mais um problema de índole económica do que técnica; pode assim dizer-se que um revestimento atinge o fim da vida útil económica quando a substituição do revestimento é mais lucrativa do que a sua reparação.

1.4.1.2 Fim da vida útil

O fim da vida útil de uma construção representa o ponto no tempo em que esta deixa de poder assegurar as actividades que nela se desenvolvem, por factores nem sempre objectivos e quantificáveis. Por simplificação, geralmente considera-se que uma construção atinge o seu fim de vida quando uma das suas dimensões de análise atinge um limite crítico inaceitável, por obsolescência funcional, falta de rentabilidade económica ou pela degradação física das suas camadas hierarquicamente mais determinantes [Ang e Wyatt, 1999], [Gaspar, 2001], [Gaspar e Brito, 2003c].

Segundo Moser (2004), a vida útil é influenciada por critérios de segurança, de funcionalidade e de aparência (estéticos). Este processo expressa-se graficamente na Figura 1.3, através da comparação entre a degradação estética, a perda de funcionalidade e a diminuição dos níveis de segurança de uma construção e, simultaneamente, pela indicação dos níveis mínimos de exigência para cada um destes aspectos [Jernberg, 1999].

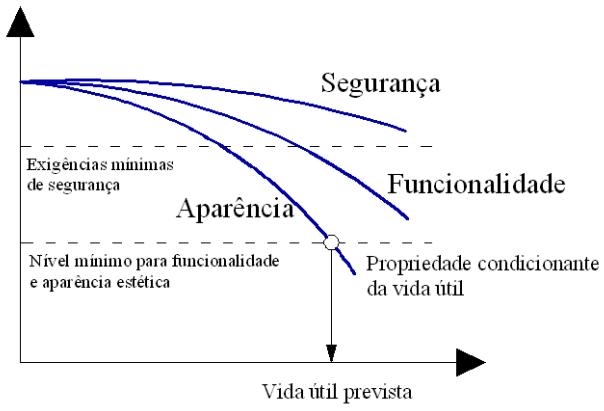


Figura 1.3 - Relação entre a perda de desempenho das propriedades de um elemento e os mínimos aceitáveis, com identificação daquela que condiciona o fim da vida útil [Moser, 1999]

No exemplo apresentado, a degradação estética é a propriedade que mais cedo atinge o seu mínimo admissível, pelo que se assume como condicionante da vida útil (curiosamente, certos autores referem que, sempre que se consideram questões de ordem estética, estas acabam por se constituir como factores críticos [Damen e Hermans, 1999]).

1.4.1.3 Influência da manutenção na vida útil

As intervenções mais ligeiras em edifícios incluem as acções de manutenção e reparações ocasionais, tendo em vista adequados níveis de desempenho. Se o nível de degradação aumentar significativamente, serão necessárias intervenções mais profundas, que prolongam o ciclo de vida das construções, como é exemplo a reabilitação. O presente trabalho insere-se no âmbito de operações correntes de manutenção, focando assim a análise no comportamento de edifícios durante o seu tempo de vida útil, isto é, quando ainda se encontram acima do nível mínimo de desempenho.

De acordo com Tekata et al. [2004], a necessidade de manutenção surge por dois motivos distintos:

- alteração das condições dos edifícios devido a deterioração, condicionando assim a vida útil física;

- alteração das exigências e expectativas da sociedade, condicionando a vida útil funcional.

As operações de manutenção afectam o comportamento dos elementos ao longo do tempo, alterando os modelos de degradação (acréscimos de desempenho) e os valores das vidas úteis (Figura 1.4). A sistematização de estratégias de manutenção possibilita a gestão racional das intervenções, agindo atempadamente no sentido de evitar a propagação de anomalias existentes, optimizando os recursos e minimizando os custos envolvidos [Flores e Brito, 2003c].

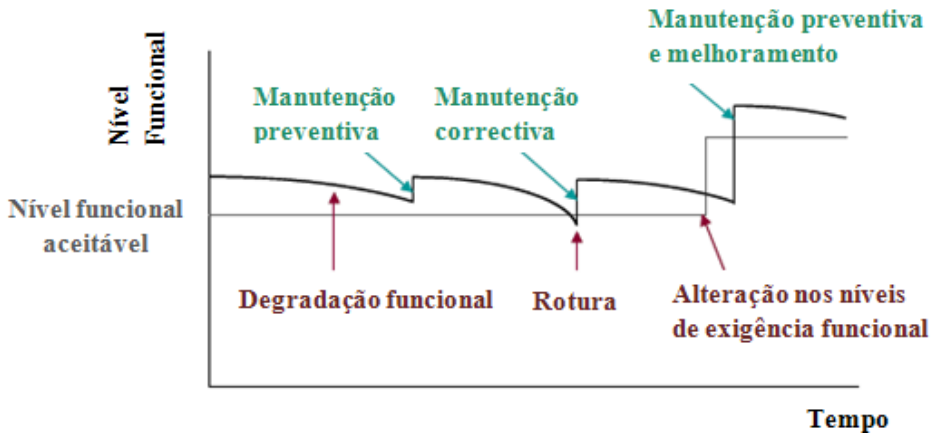


Figura 1.4 - Influência das actividades de manutenção no cumprimento dos níveis mínimos aceitáveis [adaptado de Takata et al., 2004]

1.4.2 Procedimento geral de previsão de vida útil

De acordo com Garrido [2010], a abordagem geral ao problema da previsão da vida útil de materiais e componentes de construção pode ser dividida em três fases fundamentais: definição do problema, recolha de dados e análise de dados. Este faseamento é, de forma geral, semelhante ao sugerido na norma ISO 15686-1:2000, o qual por sua vez utiliza a estrutura proposta por Masters et al. [1989]. Na Figura 1.5, é apresentada uma esquematização deste procedimento geral, sendo também indicado nesta figura o procedimento adoptado especificamente na realização da presente dissertação.

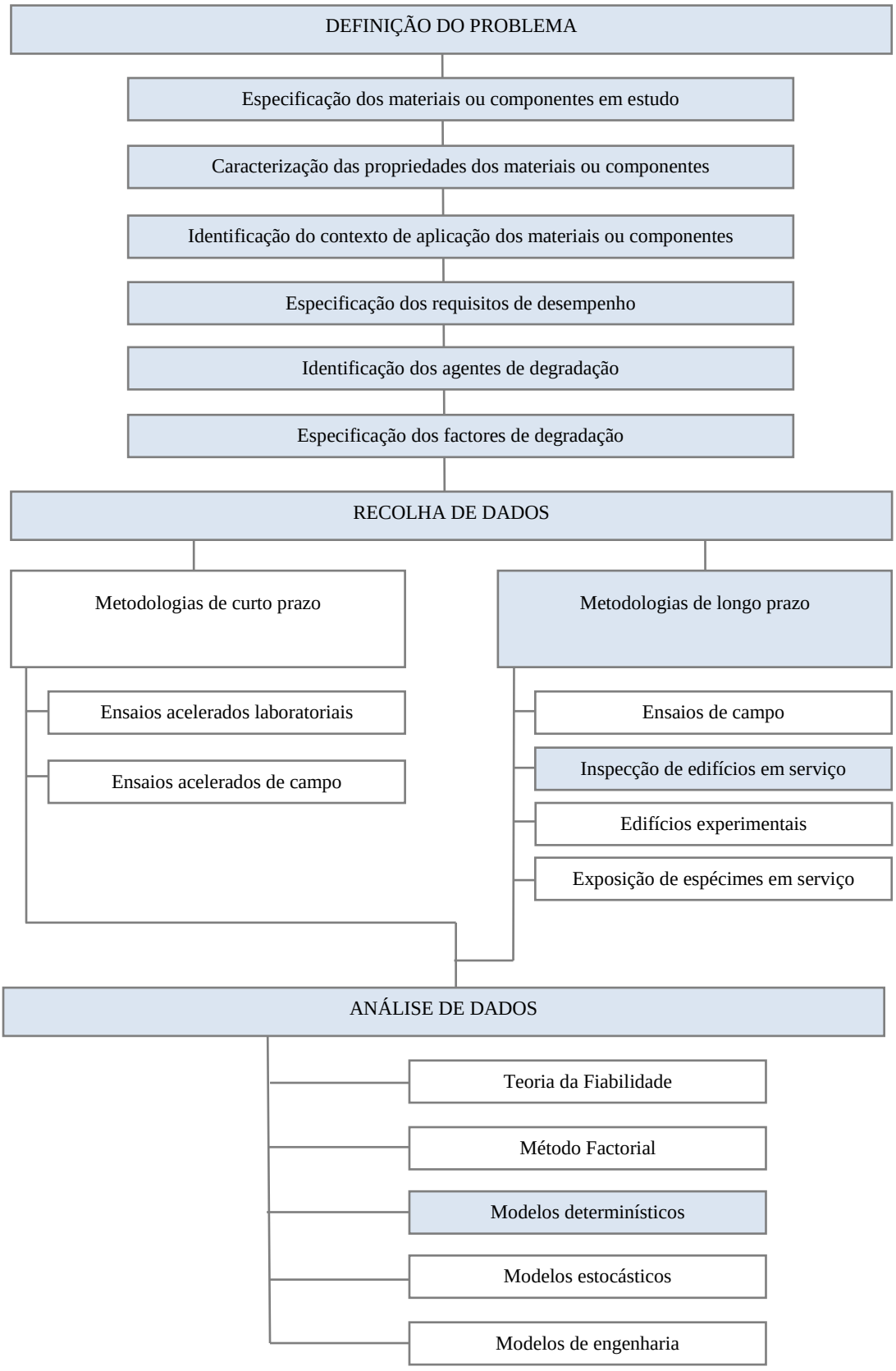

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA
Especificação dos materiais ou componentes em estudo
Caracterização das propriedades dos materiais ou componentes
Identificação do contexto de aplicação dos materiais ou componentes
Especificação dos requisitos de desempenho
Identificação dos agentes de degradação
Especificação dos factores de degradação
RECOLHA DE DADOS
Metodologias de curto prazo
Metodologias de longo prazo
Ensaios acelerados laboratoriais
Ensaios acelerados de campo
Ensaios de campo
Inspecção de edifícios em serviço
Edifícios experimentais
Exposição de espécimes em serviço
ANÁLISE DE DADOS
Teoria da Fiabilidade
Método Factorial
Modelos determinísticos
Modelos estocásticos
Modelos de engenharia

Figura 1.5 - Procedimento geral das metodologias de previsão de vida útil de materiais e componentes de construção, com indicação do procedimento adoptado no presente trabalho [adaptado de Garrido, 2010]

Na fase de definição do problema, é estabelecido o âmbito do estudo a desenvolver. Este traduz-se na definição de quais são os materiais em análise, as suas características, o seu contexto de aplicação, as condições ambientais e possíveis factores de degradação a que estes estão (ou estarão) expostos, quais os

mecanismos de degradação e as anomalias possíveis, assim como as causas que poderão estar na sua origem.

A fase de recolha de dados pretende fornecer a informação necessária à caracterização dos mecanismos de degradação e das anomalias do material, assim como à identificação dos factores de degradação que influenciam a evolução desses mecanismos.

Na fase de análise de dados, toda a informação recolhida na fase anterior é utilizada para construir modelos de degradação e obter estimativas da vida útil do material.

Nas secções seguintes, apresenta-se brevemente o estado de conhecimento actual relativamente às metodologias de recolha e análise de dados existentes, podendo encontrar-se informação mais detalhada nas investigações de Sjöström [1991], Gaspar [2002], Bordalo [2008], Silva [2009] e Garrido [2010].

1.4.3 Metodologias de recolha de dados

A recolha de dados visa a obtenção de informação relativa ao desempenho diferido dos materiais, sob a acção dos factores de degradação.

De acordo com Garrido [2010], esta pode, essencialmente, ser realizada por duas vias: com metodologias de curto prazo ou de longo prazo. As designações de curto ou longo prazo referem-se ao tipo de degradação que é possível observar com a metodologia em causa: degradações que ocorrem num curto espaço de tempo ou degradações que ocorrem num espaço de tempo longo, respectivamente. Esta designação não se relaciona necessariamente com o tempo que a fase de recolha de dados consome.

1.4.3.1 Metodologias de curto prazo

Este tipo de metodologia consiste, geralmente, na exposição dos materiais ou componentes a condições mais severas do que aquelas que seriam encontradas em serviço. Tal é conseguido por maiores intensidades ou por ciclos mais rápidos (maiores frequências de incidência) de exposição aos factores de degradação.

Nesta categoria existem, essencialmente, dois tipos de ensaios: ensaios acelerados em laboratório e ensaios acelerados de campo.

Os ensaios acelerados de laboratório visam criar e simular artificialmente a acção dos agentes de degradação durante o período de serviço, permitindo avaliar a acção directa de determinado factor no comportamento do material ou componente em estudo. Estes testes ganham importância quando comparados com resultados de campo, visto ser difícil a extrapolação dos resultados de laboratório. Alguns autores referem que os ensaios acelerados em laboratório representam uma simplificação da realidade, apresentando resultados sem uma correspondência clara com a complexidade dos fenómenos associados à degradação natural em condições reais de utilização e exposição [Gonçalves, 1997], [Botelho, 2003], [Daniotti e Iacono, 2005]. Garrido [2010] refere algumas das razões que podem estar na origem do referido, nomeadamente o risco de se originarem mecanismos de degradação que não ocorreriam numa exposição normal e o facto de o número de factores em actuação ser geralmente

reduzido. Nesta perspectiva, este tipo de metodologia apresenta-se interessante sobretudo para a avaliação da relação causa-efeito entres factores e mecanismos de degradação.

Os ensaios acelerados de campo consistem na exposição de espécimes de teste em determinadas localizações, onde estes ficam sob a acção dos factores de degradação aí presentes, os quais devem ser monitorizados e registados ao longo da duração do ensaio. Este tipo de ensaio pode assumir várias durações, de acordo com os objectivos pretendidos. No contexto de pinturas, um exemplo de aplicação deste tipo de ensaio é a exposição de revestimentos provenientes de diferentes produtos de pintura realizados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo estes sido observados, embora não analisados, no âmbito do presente trabalho. Para ilustrar esta metodologia, Sjöström [1991] afirma que ensaios expostos directamente à radiação solar e inclinados a 45° podem ser considerados testes de campo acelerados. De acordo com Garrido [2010], estes ensaios têm a vantagem de permitir testar os materiais sob condições de exposição real, com um grau de aceleração inferior, o que à partida permitirá reduzir os riscos associados à utilidade dos resultados referidos para os ensaios acelerados. Porém, apesar de aqui serem apresentados como ensaios de curto prazo, os períodos de ensaio poderão ser demasiado longos quando se pretende obter rapidamente informações sobre o desempenho diferido de um dado material ou componente.

1.4.3.2 Metodologias de longo prazo

As metodologias de longo prazo pretendem analisar o comportamento dos materiais ou componentes quando sujeitos a condições reais de exposição, observando-se assim verdadeiras taxas de degradação, ao invés de taxas de degradação acelerada.

De acordo com Garrido [2010], existem quatro abordagens básicas para a obtenção de dados de degradação: os ensaios de campo, a inspecção de edifícios em serviço, a utilização de edifícios experimentais e a exposição de provetes em serviço.

Os ensaios de campo podem ser, de acordo com Garrido [2010], utilizados como metodologia de curto ou longo prazo, dependendo da sua concepção. Quando os factores de degradação utilizados e os seus respectivos níveis - nomeadamente intensidade e frequência - são em tudo semelhantes aos encontrados em condições de serviço, estes ensaios inserem-se na categoria dos ensaios de longo prazo, uma vez que a degradação que irá ser observada é semelhante à que ocorrerá em serviço. Na respectiva análise de dados, é necessário ter em consideração que [Sjöström, 1991]:

- os resultados obtidos dependem fortemente do local de exposição, pelo que a transposição de resultados para outros locais não é simples;

- as condições ambientais não se repetem de período para período, sendo os dados obtidos característicos do período efectivo do ensaio.

A inspecção de edifícios em serviço pretende caracterizar o comportamento de edifícios em condições reais de utilização, escolhendo-se para o efeito edifícios reais que não tenham sido concebidos para utilização em metodologias de previsão de vida útil. De acordo com Gaspar [2009] esta opção é a que

melhor se insere no âmbito de operações correntes de gestão e manutenção de edifícios, pela simplicidade e facilidade de aplicação, sendo adequada aos meios técnicos e financeiros geralmente disponíveis em gabinetes e empresas de projecto, fiscalização, gestão técnica, manutenção e gestão de condomínios. Ainda de acordo com o mesmo autor, reconhece-se uma diminuição do rigor da informação (por exemplo, comparativamente a ensaios de campo destrutivos) que se aceita em termos de uma maior exequibilidade prática decorrente da aplicação da metodologia proposta. Sjöström [1991] refere duas limitações características deste tipo de método, nomeadamente:

- a dificuldade na obtenção de dados referentes aos edifícios, como são exemplo as acções de manutenção empreendidas ou a quantificação do desempenho real; de acordo com Garrido [2010], as informações referentes aos momentos de aplicação dos materiais ou componentes e às eventuais acções de manutenção empreendidas sobre estes, poderão estar disponível em arquivos municipais, serviços camarários ou outros registos de autoridades locais; existe também a hipótese de obter essas informações directamente a partir dos ocupantes do edifício; no entanto, esta última alternativa poderá ter o inconveniente de fornecer informações pouco seguras e fiáveis, sobretudo quando não existam registos concretos para as corroborar; neste ponto, interessa referir que algumas limitações encontradas neste domínio, no decorrer do presente trabalho, serão abordadas nos capítulos seguintes;

- a dificuldade em controlar, medir e descrever as condições ambientais a que está exposto o material ou componente; neste contexto, refere-se o trabalho de Paulo [2009], onde foi utilizado um modelo de simulação da velocidade do vento ao nível das fachadas dos edifícios, tendo sido utilizadas as velocidades médias mensais e diárias para a zona de localização dos edifícios (recolhidas no Instituto de Meteorologia) e medições da velocidade do vento ao nível local.

A utilização de edifícios experimentais difere do caso anterior, pelo facto de existir um controlo muito maior sobre todas as condições experimentais. Os edifícios experimentais são edifícios concebidos com o intuito de incorporar e expor materiais ou componentes específicos em condições de serviço. Assim, é possível saber exactamente quais os materiais ou componentes em estudo, as suas características, as suas condições de aplicação e a idade destes a qualquer momento. Adicionalmente, é possível monitorizar, a partir do momento de início do ensaio e até à conclusão deste, as condições de exposição e os factores de degradação considerados relevantes para a situação em estudo [Garrido, 2010].

Por último, ainda de acordo com o mesmo autor, a exposição de espécimes em serviço consiste na incorporação de materiais ou componentes para os quais se pretende obter dados de vida útil em edifícios ou infra-estruturas que não foram explicitamente concebidas para a execução de ensaios de durabilidade. Este tipo de abordagem é particularmente útil quando a degradação está directamente ligada as acções e comportamentos dos utilizadores (por exemplo, ensaio de caixilhos de janelas).

1.4.4 Metodologias de previsão de vida útil

Existem diferentes abordagens e metodologias para a previsão de vida útil, sendo que os principais métodos existentes podem ser divididos em modelos determinísticos, modelos estocásticos e modelos de engenharia [Daniotti, 2003], [Moser, 2004], [Lacasse e Sjöström, 2004].

O objectivo de qualquer dos métodos referidos é a modelação do desempenho diferido dos materiais e componentes, com vista à estimativa de vidas úteis.

1.4.4.1 Modelos determinísticos

Os métodos determinísticos baseiam-se no estudo dos factores de degradação que afectam os elementos estudados, na compreensão dos seus mecanismos de actuação e, por fim, na sua quantificação traduzida em funções de degradação. Estes factores são depois traduzidos em fórmulas que expressam a sua acção ao longo do tempo, até que o valor mínimo aceitável de desempenho do elemento estudado seja atingido [Gaspar, 2002].

Estes métodos apresentam vantagens, como a facilidade de compreensão e aplicação, sendo no entanto alvo de várias críticas quanto à simplicidade com que abordam fenómenos complexos. No entanto, estes métodos são os que têm produzido mais resultados práticos, servindo de base para a norma ISO.

1.4.4.1.1 Método Factorial

O *Architectural Institute of Japan* [AIJ, 1993] apresentou um guia para o planeamento de vida útil de materiais e componentes de edifícios no qual é sugerida uma expressão de cálculo para as estimativas de vida útil. Este método tem por base uma vida útil de referência, a qual é afectada por um conjunto de factores determinísticos relacionados com a diferença entre condições específicas e condições de referência, tendo assim em conta os factores de degradação específicos para cada caso. Trata-se de um método empírico que depende fortemente da informação disponível, não caracterizando o escalonamento da degradação dos elementos ao longo do tempo.

Posteriormente, este método serviu de base para a norma ISO 15686-1 [2000], sendo a vida útil determinada através da seguinte expressão:

$$ESLC = RSLC \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \quad (1.1)$$

em que:
ESLC - vida útil estimada;
RSLC - vida útil de referência;
A - factor relacionado com a qualidade dos materiais;
B - factor relacionado com o nível de projecto;
C - factor relacionado com o nível de execução;
D - factor relacionado com as condições do ambiente interior;
E - factor relacionado com as condições do ambiente exterior;
F - factor relacionado com as condições de uso;
G - factor relacionado com o nível de manutenção.

Os factores correctivos do método factorial correspondem a índices multiplicativos e variam normalmente (mas não obrigatoriamente) entre 0.8 e 1.2, para as condições menos e mais favoráveis respectivamente, e assumem o valor de 1.0 para as situações correntes ou sempre que o respectivo factor não for aplicável.

O método factorial tem sido criticado sobretudo devido à sua grande dependência dos factores modificativos, pela natureza eminentemente determinística dos resultados obtidos, pela grande

sensibilidade a pequenas variações dos dados e pela ausência de indicações sobre como determinar a vida útil de referência e como quantificar os factores modificativos [Rudbeck, 1999], [Moser, 2003, 2004], [Hovde, 2000, 2005].

Uma abordagem para ultrapassar as referidas limitações pode passar pela consideração de cada um dos factores como sendo uma variável aleatória, a qual pode ser associada uma função de densidade de probabilidade. Esta abordagem pretende melhorar a qualidade das estimativas de vida útil, incorporando uma vertente probabilística no método factorial, mas mantendo a sua simplicidade de utilização [Moser, 2004].

Nos pontos seguintes, são identificados os factores e subfactores relevantes para caracterização do comportamento de revestimentos por pintura. Como referido, este trabalho assume-se como o primeiro passo ao desenvolvimento do método factorial para pinturas, pelo que nem todos os factores apresentados serão alvo de análise no presente trabalho.

1.4.4.1.1.1 *Factores A, B e C (factores relacionados com as características intrínsecas das pinturas)*

Diversas investigações têm procurado estudar as causas na origem da elevada degradação observada no património construído, associando a cada uma delas uma percentagem de ocorrência. Um estudo realizado em França pela *Agence Qualité Construction* atribuiu aos defeitos dos materiais (factor A), aos erros de concepção (factor B) e execução (factor C) 96% das causas na origem das anomalias detectadas. Outra investigação, da responsabilidade do CIB, realizada em diversos países, chegou aos resultados apresentados na Tabela 1.1, realçando também a elevada percentagem associada aos referidos factores.

Tabela 1.1 - Principais origens de anomalias nos edifícios (em percentagem) [CIB, 1993]

País	Erros de projecto	Erros de execução	Defeitos do material	Condições de uso	Outras
Finlândia	50%	30%	10%	10%	
França	30%	60%	10%		
Alemanha	40%	40%	20%		
Grã Bretanha	40%	50%	10%		
Holanda	40%	35%	10%	10%	5%
Noruega	45%	40%	15%		
EUA	50%	25%	15%	10%	

No que se refere especificamente a revestimentos por pintura, inquéritos realizados nesta área afirmam que os erros de projecto e execução, nomeadamente a inadequada selecção dos produtos de pintura e a incorrecta preparação do suporte, representam cerca de 80% das causas na origem das anomalias precoces em revestimentos por pintura. Relativamente aos erros de execução, este é um dos factores sobre o qual é mais difícil reunir informação.

Estes dados, embora variáveis consoante o país e o material em estudo, traduzem a importância dos referidos factores no adequado desempenho dos materiais, apresentando-se na Tabela 1.2 os factores relacionados com as características inerentes que importa analisar no âmbito da durabilidade de pinturas.

Tabela 1.2 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as características intrínsecas das pinturas [adaptado de Flores, 2002; Eusébio, 2007; Eusébio, 2008; Silva, 2009]

Factor	Subfactores relevantes
A - qualidade dos materiais utilizados	Propriedades das pinturas (permeabilidade ao vapor de água, impermeabilidade à água, elasticidade da película, resistência às acções externas)
	Tipo de produto
	Textura da película
	Cor e brilho da pintura
	Susceptibilidade à aderência de sujidade
B - nível de projecto	Compatibilidade do produto com o suporte
	Adequação do produto às condições de exposição
	Compatibilidade entre os produtos utilizados
	Existência de primários
	Espessura das camadas
	Número de demãos
C - nível de execução	Preparação da superfície
	Processo de aplicação
	Condições de aplicação
	Tempo de secagem dos produtos
	Especialização da mão-de-obra
	Fiscalização e controlo da qualidade

1.4.4.1.1.2 *Factores D e E (factores relacionados com as condições ambientais)*

De acordo com Silva [2009], as condições ambientais e de exposição representam um dos principais factores de degradação em edifícios. No caso dos agentes ambientais, a degradação depende fortemente da sua intensidade e frequência de ocorrência; no caso das condições de exposição, esta depende naturalmente das características do edifício, que ditam o seu grau de exposição ao ambiente exterior. Apresentam-se assim na Tabela 1.3 os principais factores e subfactores relevantes para o caso de pinturas.

Tabela 1.3 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as condições ambientais a que se encontra exposto o revestimento [adaptado de Flores, 2002; Eusébio, 1980; Teo et al., 2005 ; Gaspar, 2009; Silva, 2009]

Factor	Subfactores relevantes
D - condições do ambiente interior	Não apresenta efeitos significativos em revestimentos exteriores
E - condições do ambiente exterior	Orientação solar, temperatura do ar, acção da chuva, humidade relativa, acção do vento, factores microbiológicos, poluição ambiental, proximidade de fontes poluentes, proximidade do mar
	Geometria da fachada (saliências, zonas expostas), orientação, inclinação, altura e volumetria
	Exposição da fachada (existência de elementos de protecção)

1.4.4.1.1.3 *Factores F e G (factores relacionados com as condições de uso e manutenção)*

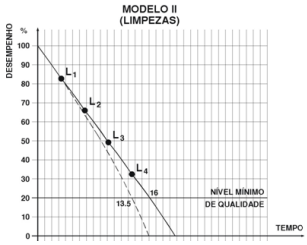
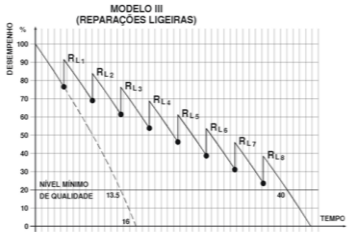
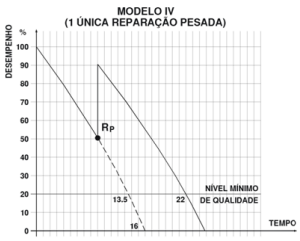
As condições de uso e de manutenção afectam o comportamento de qualquer material ou componente a construção, apresentando-se na Tabela 1.4 os subfactores condicionantes na vida útil de pinturas.

Tabela 1.4 - Subfactores relevantes na análise dos factores relacionados com as condições de uso e as acções de manutenção das pinturas [adaptado de Flores, 2002; Silva, 2009]

Factor	Subfactores relevantes
F - condições de uso	Factores acidentais de origem natural ou humana
	Vandalismo (*graffiti*)
	Ataque biológico (vegetação parasitária e aves)
	Causas fortuitas
G - nível de manutenção	Inexistente
	Tipo de manutenção (inspecções, limpezas, reparações, tratamentos de superfície, entre outros)
	Periodicidade da manutenção
	Acessibilidade para executar a manutenção
	Qualidade das acções de manutenção (técnicas adequadas, entre outros)

Na investigação de Flores [2002] relativa a estratégias de manutenção, a autora atribui vidas úteis expectáveis consoante o tipo de manutenção realizada em pinturas, realçando a importância destas nas referidas estimativas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.5, assim como uma representação esquemática do impacte da intervenção nos modelos de degradação.

Tabela 1.5 - Valores da vida útil expectável (ESL) de revestimentos por pintura (tinta plástica), consoante o tipo de manutenção de que são alvo [adaptado de Flores, 2002]

Tipo de manutenção	Sem manutenção	Acções de limpeza Com periodicidade igual a 1/4 da vida útil inicialmente prevista
Representação esquemática do andamento da curva de degradação		
Valor de vida útil	5 anos	6 anos
Tipo de manutenção	Reparações ligeiras Com periodicidade igual a 1/3 da vida útil inicialmente prevista	Reparação pesada Reparação única a 2/3 da vida útil inicialmente prevista
Representação esquemática do andamento da curva de degradação		
Valor de vida útil	15 anos	8 anos

1.4.4.1.2 Método gráfico

Existe outro tipo de modelos determinísticos, baseado na definição de curvas de degradação que pretende modelar o desempenho dos materiais e componentes ao longo do tempo. Estas curvas podem ser obtidas

através do ajuste a gráficos de degradação que representam, tipicamente, o tempo decorrido desde a entrada em serviço no eixo das abcissas e uma escala de medida da degradação no eixo das ordenadas.

A escala de medida da degradação pode seguir diferentes abordagens, podendo traduzir uma única anomalia ou uma combinação de anomalias. No primeiro caso, utiliza-se uma medida da extensão da respectiva anomalias, sendo que no segundo caso se recorre, geralmente, à quantificação de um indicador da degradação que combine as extensões e, eventualmente, a severidade das várias anomalias. Exemplos de aplicação das referidas metodologias podem ser consultadas nas investigações de Paulo [2009] e Garrido [2010], para a primeira abordagem e de Gaspar [2002], Shohet et al. [2003], Teo et al. [2005] e Gaspar [2009], para a segunda abordagem. Neste último, Gaspar [2009] desenvolve uma metodologia que transpõe os resultados fornecidos pelo método gráfico (MG) para o método factorial (MF).

As curvas de degradação escolhidas para a modelação do desempenho diferido dependem essencialmente da natureza dos fenómenos de degradação modelados, devendo estas apresentar um ajuste adequado ao andamento geral dos pontos do gráfico de degradação.

No contexto de fachadas e mais concretamente de pinturas, há a referir diferentes curvas utilizadas para a modelação do desempenho, nomeadamente curvas do tipo Gompertz, potenciais e Weibull.

As curvas de Gompertz foram utilizadas por Paulo [2009] para a modelação da degradação diferida de pinturas e rebocos de fachadas relativamente a várias anomalias e por Garrido [2010] para a modelação da degradação de pinturas, no que se refere à extensão de destacamento, tendo-se revelado como uma alternativa interessante para a modelação dos fenómenos de degradação. As curvas - numa situação limite - têm um andamento típico semelhante ao apresentado na Figura 1.6, caracterizado por dois patamares, originados por assímptotas horizontais nos limites do contra-domínio da curva. De acordo com Garrido [2010], estes traduzem-se, no contexto da utilização destas curvas para a finalidade de modelar a evolução de uma anomalia, numa fase de iniciação da degradação, durante a qual a anomalia progride muito lentamente, e numa fase de redução da taxa de degradação quando a anomalia já afecta uma grande extensão do material ou componente.

Na equação apresentada na Figura 1.6, D_G corresponde ao valor da extensão da degradação e t corresponde ao tempo decorrido desde a entrada em serviço do material ou componente. Os parâmetros a e b são escalares, de sinal negativo para o andamento apresentado.

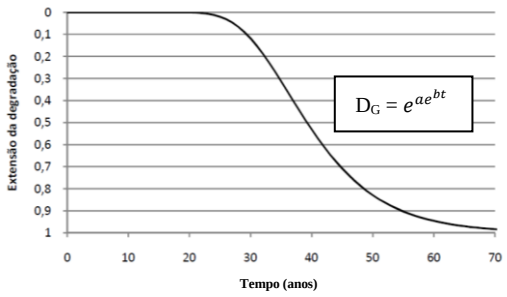


Figura 1.6 - Andamento geral de uma curva de Gompertz [adaptado de Garrido, 2010]

As curvas potenciais foram utilizadas no trabalho de Garrido [2010] e, juntamente com curvas de Gompertz, no trabalho de Garrido et al. [2010]. As curvas têm um andamento típico semelhante ao apresentado na Figura 1.7, caracterizado, à semelhança das curvas de Gompertz, por um patamar inicial

que reflecte um período de iniciação da degradação, seguido de um aumento gradual da taxa de degradação. No entanto, e ao contrário das curvas de Gompertz, as curvas potenciais não apresentam um patamar na zona final da curva, sendo a taxa de degradação continuamente crescente até que seja atingido o valor máximo de extensão da anomalia.

Na equação apresentada na Figura 1.7, D_P corresponde ao valor da extensão da degradação e t corresponde ao tempo decorrido desde entrada em serviço do material ou componente. Os parâmetros a e b são escalares, de sinal positivo para o andamento apresentado.

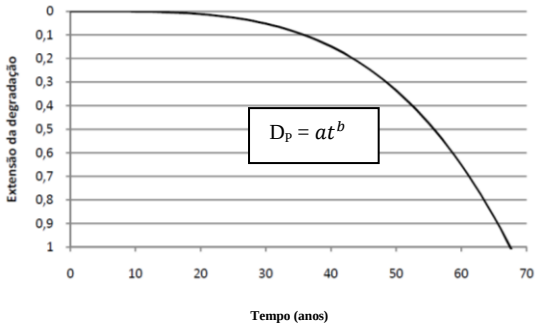


Figura 1.7 - Andamento geral de uma curva potencial [adaptado de Garrido, 2010]

As curvas de Weibull foram utilizadas no trabalho de Garrido [2010], sendo o seu andamento geral apresentado na Figura 1.8.

Na equação apresentada na Figura 1.8, D_W corresponde ao valor da extensão da degradação e t corresponde ao tempo decorrido desde entrada em serviço do material ou componente. Os parâmetros η e β são escalares, de sinal positivo para o andamento apresentado. Para este andamento, o parâmetro β apenas pode assumir valores ímpares, maiores ou iguais a 3.

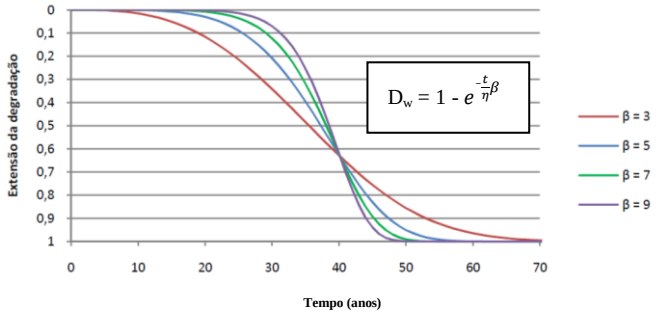


Figura 1.8 - Andamento geral de uma curva de Weibull [adaptado de Garrido, 2010]

Garrido [2010] modelou a extensão de destacamento em função do tempo com recurso às três referidas curvas, tendo concluído que as curvas de Gompertz são as que demonstram, de forma mais consistente, um melhor ajuste aos dados obtidos.

Nas investigações de Gaspar [2002], Shohet et al. [2003], Bordalo [2008], Silva [2009] e Gaspar [2009], foram utilizadas curvas polinomiais e lineares, tendo-se também revelado adequadas à modelação do desempenho. As curvas de degradação expressas por rectas apresentam vantagens, sobretudo no que se refere à manipulação da função que descreve a recta, permitindo, por exemplo, passar feixes de rectas pela origem e por cada um dos pontos da amostra para determinar os intervalos de variação superiores e inferiores.

1.4.4.2 Modelos estocásticos

Os modelos estocásticos diferem dos modelos determinísticos por incluírem nas estimativas de vida útil uma componente probabilística, não apresentando somente um valor como estimativa, mas sim intervalos de possíveis valores com probabilidades de ocorrência associadas [Garrido, 2010].

Relativamente a fachadas pintadas, Paulo [2009] apresenta um modelo escolástico de previsão da vida útil, no qual são utilizadas cadeias de *Markov*. Este modelo assenta na aceitação de que a deterioração é um processo estocástico, regido por variáveis aleatórias, que por sua vez definem parâmetros probabilísticos que afectam uma curva média de degradação [Moser, 2003].

Para cada critério de desempenho, são definidos parâmetros de *performance*, geralmente escalonados em níveis de 1 a n (isto é, de rotura a excelente) de acordo com a degradação contínua do sistema. Da combinação do número de parâmetros com o número de níveis por parâmetro, obtém-se uma matriz que representa o número de estados de determinado elemento [Leira, 1999].

Posteriormente, para cada estado ou condição, é definida a probabilidade de passagem de um estado a outro, por unidade de tempo, baseada em observações de campo (visuais), em função de cada variável ambiental, constituindo-se matrizes de probabilidade de passagem de estado.

Estes modelos têm a vantagem de fornecer mais informação associada as estimativas, permitindo uma interpretação e utilização mais completa destas. Com a associação de dados probabilísticos às previsões de vida útil, é possível, por exemplo, desenvolver metodologias complementares de gestão de risco e de optimização de custos utilizando esses dados. No entanto, estes modelos são usualmente bastante complexos para usar na prática corrente e necessitam de uma grande quantidade de informação (dados de degradação) no seu desenvolvimento [Cecconi, 2002].

1.4.4.3 Modelos de engenharia

Actualmente procura-se criar um nível intermédio entre dois grandes grupos - os modelos determinísticos e probabilísticos - através dos modelos de engenharia. Estes, partindo de metodologias mais simples (determinísticas), permitem integrar um pouco da variabilidade associada à incerteza do mundo real, sem se tornarem excessivamente complexos [Gaspar, 2002].

Como referido em 1.4.4.1.1, as novas abordagens do método factorial que definem cada um dos sete factores correctivos como variáveis aleatórias são um exemplo de modelo de engenharia [Cecconi, 2004].

1.4.5 Ferramenta económica LCC

Uma vez definidos os modelos de degradação e o ciclo de vida dos elementos, devem ser avaliados os custos na fase de utilização (custos iniciais, custos de manutenção, custos de remoção), obtendo-se desta forma os custos totais actualizados. Extrapolando estes critérios para ferramentas que permitam escolher os vários tipos de estratégias de manutenção, é possível optar por uma escolha racional, ditada por circunstâncias em que as alternativas não dependem unicamente dos custos iniciais, mas também dos custos de manutenção [Flores e Brito, 2003c].

Neste contexto, a estratégia mais favorável apresenta o menor valor do Valor Actual Equivalente (VAE LCC), calculado pela expressão a seguir apresentada:

$$VAE\ LCC = \sum_{t=0}^{N} \frac{C\ (1+e)^t}{(1+d)^t} \times \frac{d(1+d)^N}{(1+d)^N - 1} \qquad (1.2)$$

em que,

d - taxa de actualização;

e - taxa diferencial de preços;

C - custos em cada instante;

N - período de estudo;

t - representa o tempo em anos.

O método do LCC contabiliza assim na análise valores da vida útil, custos de manutenção (inspecções, limpezas, reparações, substituições), taxas de actualização e inflação. A sua utilização permite comparar os custos entre várias estratégias com diferentes períodos de vida útil, apoiando a decisão na escolha da estratégia mais favorável, do ponto de vista de custo-eficácia entre as alternativas tecnicamente válidas, ou seja, aquela que minimiza o custo global ao longo da vida útil total do edifício [Flores e Brito, 2003c].

1.4.6 Enquadramento normativo para a estimativa da vida útil das construções

A produção de textos normativos sobre a durabilidade conheceu um grande impulso a partir do início da década de 90 do século XX, existindo, actualmente, diferentes abordagens.

1.4.6.1 British guide to durability of building elements, products and components - Reino Unido

No Reino Unido, o organismo responsável pela normalização, publicou, em 1992, a norma 7543 para a durabilidade - *British guide to durability of building elements, products and components* [BSI 7543,1992] - que lista diversos métodos para estimar valores de vida útil de produtos da construção, desde a experiência prévia até testes acelerados de degradação.

Segundo a referida norma, a previsão da vida útil pode ser realizada das seguintes formas:

- através da experiência adquirida, com construções iguais ou semelhantes, sujeitas a ocupação ou condições climáticas similares;

- através da avaliação do nível de degradação dos elementos num curto período de utilização ou exposição, estimando o valor para o qual o limite da durabilidade é atingido;

- através de ensaios de envelhecimento acelerado - método de complexa ligação à realidade, devido à necessidade de simular condições reais, que têm inúmeras variáveis associadas.

1.4.6.2 Principal guide for service life planning of buildings - Japão

O grande impulso ao nível das metodologias para a estimativa da vida útil das construções veio do Japão, através do *Japanese principal guide for service life planning of buildings*; neste documento, que conheceu grande divulgação a partir de uma tradução parcial [AIJ, 1993], propõe-se pela primeira vez o Método Factorial, segundo o qual a durabilidade das construções resulta da vida útil das suas partes, calculada a partir de uma vida útil de referência modificada através de factores em função das respectivas características. Desde então, no Japão, esta abordagem evoluiu para a consideração mais global da durabilidade e da manutenção, a um nível legislativo [Miyamoto, 2003], sem que, no entanto, estas práticas tenham tido tanto impacte como o Método Factorial original [Gaspar, 2009].

1.4.6.3 A norma ISO

Os esforços internacionais no domínio da normalização no âmbito da durabilidade dos produtos da construção convergiram na elaboração da norma ISO 15686 no seio da TC59/SC14, no qual estão envolvidas diversas organizações internacionais (entre as quais o CIB - *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, RILEM - *International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures*, EOTA - *European Organisation for Technical Approvals e a ASTM - American Society for Testing and Materials*).

Ao longo dos anos, a norma evoluiu em complexidade até à sua versão actual, em onze partes. Sjöström et al. [2002, 2005, 2008] apresentam a evolução dos trabalhos no âmbito da comissão, sendo a respectivo resumo apresentado na Tabela 1.6.

1.4.6.4 Regulamento Geral das Edificações

No contexto nacional e de acordo com o portal do Governo, o antigo RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas), em vigor desde 1951, encontra-se completamente desajustado da realidade actual. Deste modo, foi elaborada uma proposta de revisão do regulamento existente, substituído pelo novo regulamento RGE (Regulamento Geral das Edificações). Pretende-se que o RGE seja um regulamento estruturante e ajustado à realidade actual, que entra em linha de conta com aspectos como a vida útil, manutenção e durabilidade dos edifícios [Silva, 2009].

O RGE, segundo a proposta de alteração elaborada pelo Conselho Superior de Obras Públicas [2004], estabelece, relativamente à vida útil das construções, as seguintes considerações:

- a vida útil de uma edificação (VUE), corresponde ao período em que a respectiva estrutura não apresenta degradação dos materiais, em resultado das condições ambientais, que conduzam à redução da segurança estrutural inicial (Artigo 117º, n.º 1);

- durante a vida útil das edificações, devem realizar-se actividades de inspecção, manutenção e reparação, nomeadamente em relação aos diversos componentes da edificação que tenham durabilidade inferior à vida útil (Artigo 117º, n.º 2).

Tabela 1.6 - Normas da série ISO 15686

Norma	*Título*	*Descrição*	*Notas*
ISO 15686-1	*General principles*	Princípios gerais e os procedimentos a adoptar na fase de projecto, no âmbito da durabilidade das construções, incluindo uma visão geral da estimativa da vida útil	-
ISO 15686-2	*Service life prediction procedures*	Enquadramento, princípios e metodologia para a estimativa da vida útil; nos métodos recomendados, incluem-se testes de degradação, campanhas de exposição prolongada de amostras e levantamentos de campo	(em revisão)
ISO 15686-3	*Performance audits and reviews*	Abordagem e os procedimentos a adoptar nas diversas fases da vida útil de uma obra, para garantir uma efectiva gestão da vida útil;	-
ISO 15686-4	*Data requirements / data formats*	Requisitos e formatos de dados utilizados na previsão de vida útil, referentes aos ambientes e condições de serviço	(por elaborar)
ISO 15686-5	*Life cycle costing*	Guia para o desenvolvimento de modelos de custo, de gestão e de manutenção das construções, numa perspectiva de custo global;	-
ISO 15686-6	*Procedure for considering environmental impacts*	Indicações para a determinação do impacte ambiental de diferentes soluções de projecto; relaciona os custos globais ao longo da vida útil com a gestão do edificado numa perspectiva de durabilidade	-
ISO 15686-7	*Performance evaluation for feedback of service life data from practice*	Guia genérico para a recolha de informação relacionada com a durabilidade de edifícios em uso	-
ISO 15686-8	*Reference service life and service life estimation*	Metodologia de aplicação do método factorial	-
ISO 15686-9	*Service life declarations*	Indicações relativas à harmonização de produtos da construção, do ponto de vista das respectivas declarações de durabilidade;	-
ISO 15686-10	*When to assess functional performance*	Indicações sobre a necessidade de especificar ou verificar o cumprimento de requisitos de desempenho funcional do património construído	-
ISO 15686-11	*Terminology*	Terminologia adoptada	(em elaboração)

1.4.6.5 Outros documentos normativos

Têm sido desenvolvidos outros documentos no âmbito da previsão da vida útil, em países como (Rudbeck [2002], Lacasse e Sjöström [2004], Athena Institute [2006], Kooymans e Abbott [2006], Gaspar [2009], Silva [2009]):

- Holanda: país pioneiro na aplicação de legislação baseada em exigências de desempenho, tendo servido de base ao desenvolvimento da Directiva Europeia dos Produtos da Construção, publicada em 1988;

- Nova Zelândia: *New Zealand Building Code* [1992] - que estabelece uma vida útil de 50 anos para os edifícios, podendo os seus componentes possuir uma vida útil diferente, dependendo do fácil acesso, reparação e detecção de anomalias;

- Austrália: *Guideline on durability in buildings* [2003] - o regulamento aborda a vida útil das construções em termos genéricos;

- Estados Unidos - através da *Partnership for Advancing Technology in Housing* (PATH) que tem patrocinado uma série de publicações relativas à vida útil dos edifícios;

- Canada: Standard S478: *Guideline on durability in buildings* - faz uma descrição geral dos métodos de previsão da vida útil (mesma abordagem que o BSI 7543:1992).

Desta forma, existem diversos métodos para estimar a vida útil das construções ou dos seus elementos, muito embora o seu desenvolvimento seja ainda, sobretudo, teórico [Gaspar, 2002].

1.5 Organização do trabalho

A organização do presente trabalho segue de perto a metodologia proposta, encontrando-se organizada em 5 capítulos.

O Capítulo 1 - *Introdução* define o âmbito e os antecedentes do trabalho proposto, assim como os objectivos e a metodologia adoptada. Apresenta-se também um breve enquadramento ao tema da vida útil e da respectiva estimativa, abordando o estado actual do conhecimento relativamente às metodologias existentes. Finalmente, apresenta-se a organização do documento escrito.

O Capítulo 2 - *Tintas, revestimentos por pintura e suas anomalias*, fornece as bases necessárias para a compreensão dos aspectos relacionados com o comportamento dos revestimentos por pintura e a sua durabilidade, abordando aspectos como a composição das tintas, as suas propriedades, os principais produtos existentes no mercado e a sua aplicação em obra, focando a relação entre os referidos aspectos e o desempenho das pinturas. No que se refere aos revestimentos, referem-se os seus mecanismos de degradação, as causas que podem estar na sua origem e os principais factores de degradação do material em estudo.

No Capítulo 3 - *Trabalho de campo*, apresenta-se a metodologia adoptada para a recolha e registo de dados de campo, especificando a informação presente na ficha de inspecção e diagnóstico. Neste capítulo, definem-se também os níveis de degradação para cada anomalia, parâmetro fundamental na quantificação do indicador global de degradação. Por outro lado, são igualmente identificados os critérios adoptados na

selecção da amostra e esta é caracterizada no que se refere às condições ambientais e às características construtivas dos edifícios inspeccionados, aos tipos de revestimentos estudados e às anomalias detectadas.

No Capítulo 4 - *Modelos de degradação de revestimentos por pintura*, apresenta-se a metodologia de análise de dados e desenvolvem-se modelos (obtidos através de regressão simples linear / não-linear e múltipla linear) para a estimativa de vida útil de pinturas baseados nos dados recolhidos no trabalho de campo, comparando os resultados obtidos com realidade física observada. É também analisada a contribuição de cada anomalia para a degradação observada e estudada a influência de cada um dos factores de degradação considerados, sendo cada um destes associado a um dos factores sugeridos no método factorial. Por fim, a elaboração das curvas de degradação - expressas por fórmulas de cálculo - e a definição dos critérios que ditam o fim da vida útil culminam em estimativas da vida útil de referência, baseadas nos dois modelos obtidos: modelo através de regressão simples não-linear e modelo através de regressão múltipla linear .

O Capítulo 5 - *Conclusões e desenvolvimentos futuros* contém as conclusões retiradas do trabalho desenvolvido, confrontando-se os objectivos inicialmente previstos com os resultados efectivamente alcançados. São também sugeridas algumas orientações para futuros desenvolvimentos da metodologia desenvolvida.

Capítulo 2

Tintas, revestimentos por pintura e suas anomalias (em rebocos exteriores)

2.1 Introdução

A pintura, como acabamento das paredes exteriores de edifícios, continua a ter um papel preponderante no contexto construtivo nacional e internacional. A facilidade de aplicação, os custos associados e a sua utilização milenar determinam certamente a sua divulgação [Lopes, 2008], relativamente a materiais considerados mais nobres, como os revestimentos de pedra e cerâmicos (Figura 2.1).

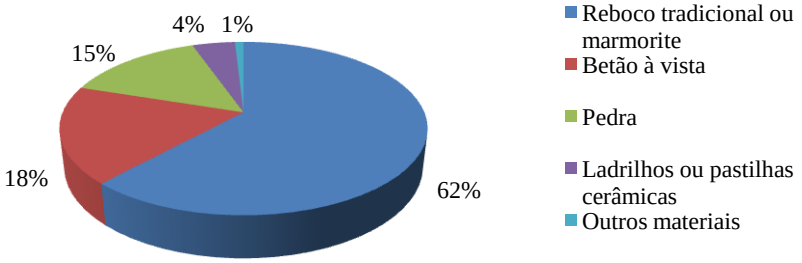


Figura 2.1 - Percentagem por tipo de revestimento exterior em edifícios em Portugal [adaptado de Censos, 2001]

Ao longo da sua vida útil, os revestimentos por pintura estão sujeitos a processos de degradação, físicos e químicos, que se manifestam, por um lado, em efeitos indesejáveis na aparência da película e, por outro, em alterações nas suas propriedades físicas [Rodrigues, 1998].

A degradação dos revestimentos é devida, frequentemente, à falta de conhecimento, à escassa informação disponível e à insuficiente comunicação entre os diversos intervenientes neste processo [Pinto, 2003]. Matos [2007] acrescenta ainda que a maioria das falhas na durabilidade deriva do facto de não se conhecer o desempenho de determinados componentes ou materiais.

O estudo da durabilidade exige assim um conhecimento apropriado dos materiais, devendo as soluções escolhidas assentar em metodologias de investigação. Desta forma, este capítulo fornece as bases para a compreensão dos aspectos relacionados com o comportamento dos revestimentos por pintura e a sua durabilidade, para posterior modelação do seu desempenho ao longo do tempo (Capítulo 4).

2.2 Âmbito do trabalho

No contexto de fachadas exteriores e de acordo com a Figura 2.1, os rebocos, a marmorite e o betão à vista representam cerca de 80% das soluções de revestimentos de fachadas em Portugal. Desta forma, as argamassas de cal e os suportes cimentícios (argamassas de cimento ou betão) ocupam um lugar de destaque pela sua forte utilização. Considera-se fora do âmbito deste trabalho abordar elementos metálicos e madeiras como suporte dos revestimentos por pintura.

Do ponto de vista da durabilidade de revestimentos por pintura para protecção do betão, há a referir o seguinte:

- existem estudos sobre o tema, designadamente no que se refere à degradação do betão, às exigências requeridas aos revestimentos por pintura em betão armado, assim como à sua degradação e causas associadas [Rodrigues, 1998], [Rodrigues, 2000], [Moreira, 2006]; a previsão do tempo de vida útil é efectuada por apreciação da sua resistência ao efeito de envelhecimento em condições de exposição natural e artificial e pelo estudo experimental das suas propriedades [Rodrigues, 1998];

- a Norma Portuguesa [NP EN 1504-2, 2006] é relativa a produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão, abordando, por exemplo, os sistemas de protecção superficial do betão;

- segundo especialistas consultados oralmente, apesar de os constituintes das tintas serem, por vezes, os mesmos para betão e para rebocos, a sua composição pode ser diferente, dada a existência de outras exigências;

- existem produtos especiais para a protecção superficial de betão armado, que cumprem os requisitos de durabilidade deste, nomeadamente a protecção contra a degradação do betão e a corrosão das armaduras, por carbonatação e pelo ataque dos cloretos (tintas anti-corrosão).

Desta forma, as tintas para betão podem apresentar um comportamento diferente das aplicadas em rebocos , além de que, sendo os requisitos para revestimentos para a protecção superficial de betão mais exigentes, o fim da sua vida útil é determinada através de outros critérios de avaliação.

Pelo referido, opta-se por limitar o âmbito do trabalho a revestimentos por pintura em rebocos exteriores. Este estudo é, ainda assim, representativo de cerca de 62% dos revestimentos de paredes exteriores e de mais de 71% das fachadas pintadas em Portugal.

2.3 Características gerais das tintas

Existe actualmente no mercado uma grande variedade de produtos para pintura, com diferentes constituintes, dando origem a revestimentos por pintura muito diversos, com diferentes aspectos, texturas, cores e funcionalidades.

Opta-se por não abordar os aspectos históricos relacionados com o desenvolvimento da indústria e da técnica de tintas, dado já existir uma extensa literatura sobre o tema [Eusébio, 1985a], [Eusébio e Rodrigues, 1990], [Oliveira, 1996], [Moreira, 2006], [Moura, 2008], [Lopes, 2008], [Cunha, 2009]. Interessa apenas referir que esta área tem progredido de tal modo que existem actualmente no mercado milhares de produtos, que têm permitido melhorias consideráveis, nomeadamente no que se refere à durabilidade, acompanhando a crescente exigência requerida aos revestimentos [Shohet et al., 2003].

Neste estudo e concretamente na perspectiva de tintas, interessa abordar os principais conceitos. Assim, refere-se a composição das tintas, pela exigência de um adequado conhecimento das características físicas e químicas dos materiais. Faz-se uma breve descrição dos principais produtos existentes para rebocos exteriores, referindo as suas propriedades, o seu comportamento expectável e a sua adequabilidade ao tipo de suporte, com objectivo de sistematizar a informação referente à escolha dos produtos que melhor convêm à situação existente. Por outro lado, referem-se os parâmetros controláveis nas tintas, importante no posterior comportamento do respectivo revestimento e, por fim, aborda-se a aplicação em obra, designadamente a preparação do suporte, assim como os processos e as condições de aplicação.

2.3.1 Definições

A Norma Portuguesa NP 41 [1982], actualmente ainda em vigor, define tinta como uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após fusão, diluição ou dispersão em produtos voláteis, é conversível ao fim de certo tempo numa película sólida, corada e opaca.

Em termos gerais, as tintas são misturas constituídas por pigmentos, cargas, veículos (fixo e volátil) e aditivos. As proporções dos constituintes dependem da sua respectiva natureza, das qualidades pretendidas na película, de finalidades específicas e ainda de factores económicos [Eusébio, 1985a]. Os primários são, em geral, produtos similares, excepto no que se refere aos pigmentos. Aplicam-se antes da tinta de acabamento e podem ter como função, entre outras, garantir uma boa aderência da tinta ou uniformizar a absorção [Brito, 2009].

Neste capítulo, distinguem-se os termos tinta, pintura e revestimento por pintura, sendo o primeiro referente ao produto de pintura, como matéria-prima. Designa-se por pintura a aplicação de uma tinta sobre determinada base de aplicação com o fim de a proteger, decorar ou conferir propriedades especiais [Moreira, 2006], [Moura, 2008]. Revestimento por pintura é o termo adoptado para designar a película seca, formada após o processo de secagem da tinta.

2.3.2 Composição das tintas

Os principais constituintes das tintas já foram referidos, encontrando-se na Figura 2.2 uma representação esquemática destes.

Estes componentes não funcionam independentemente, pois interagem quer fisicamente, quer quimicamente [Nogueira, 2009]. Interessa abordar, para cada um destes, de que forma influenciam o comportamento do revestimento, assim como alguns dos constituintes mais comuns em tintas para rebocos exteriores.

2.3.2.1 Veículo fixo

O veículo fixo ou ligante é o principal constituinte da tinta. É responsável pela formação do filme (película seca), agregando os vários componentes sólidos presentes, como os pigmentos e as cargas, e fixando-os ao suporte. O ligante pode ser inorgânico ou mineral, como é a cal, ou orgânico, como são as resinas poliméricas

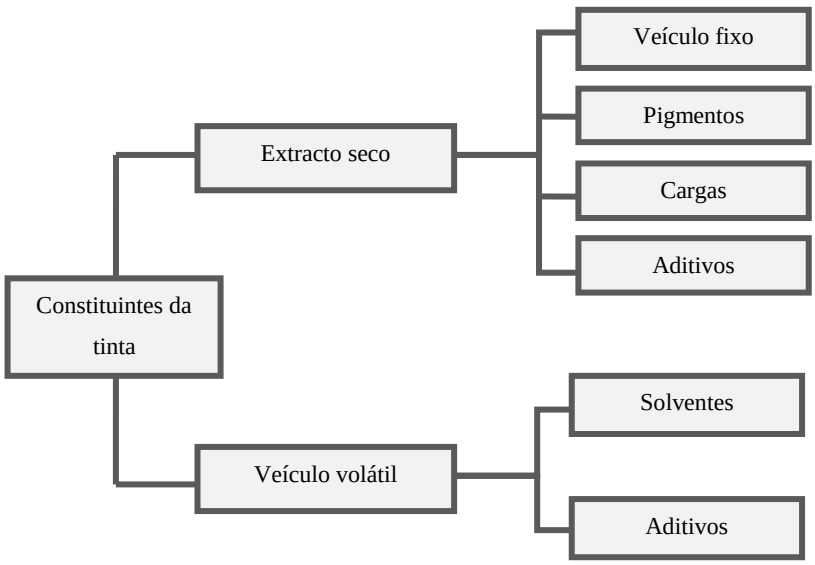


Figura 2.2 - Representação esquemática dos constituintes de uma tinta [adaptado de Nogueira, 2009].

O tipo de ligante, durante a aplicação e endurecimento da tinta, é responsável pela determinação de diversas características como o alastramento, o nivelamento e o tempo de secagem da tinta. Após a formação da película seca, influencia o aspecto final da pintura, como o brilho e a dureza. É ainda responsável por propriedades relacionadas com a durabilidade, como a aderência à base, resistência química, resistência mecânica e às condições climatéricas [Eusébio e Rodrigues, 1990], permeabilidade ao vapor de água, permeabilidade à água líquida, absorção de água por capilaridade [Brito, 2009] e flexibilidade do revestimento [Cunha, 2009].

A partir dos anos 30 do século XX, o desenvolvimento da química de polímeros permitiu a preparação de substâncias particularmente adequadas para a formação de películas e actualmente, em rebocos exteriores, só são praticamente utilizados ligantes de resinas sintéticas. Desta forma, é comum definir-se o ligante como um componente orgânico polimérico [Fiúza, 2009].

Existe uma grande diversidade de resinas sintéticas. Estudos recentes relativos a revestimentos por pintura em fachadas [Amaro, 2008], [Moura, 2008], [Brito, 2009], [Fiúza, 2009] destacam as resinas acrilícas, estireno-acrílicas, vinílicas, de silicone e, mais recentemente, as resinas de pliolite e de nanocompósitos, como os ligantes apropriados para tintas de pintura de fachadas rebocadas. Esta informação está de acordo com os dados obtidos oralmente junto de investigadores do Núcleo de Materiais do LNEC e com a posterior pesquisa de produtos disponíveis no mercado para este efeito.

Contudo, várias investigações [Ribeiro e Eusébio, 2002], [Tavares, 2002], [Veiga e Tavares, 2002], [Brito, 2009] têm demonstrado que os ligantes inorgânicos têm um papel fundamental no contexto de edifícios antigos, no âmbito da reabilitação do parque edificado, aspecto desenvolvido mais à frente.

Os ligantes inorgânicos existentes são a cal e o silicato de potássio. A cal, antes do aparecimento dos ligantes poliméricos, era o sistema mais utilizado em paredes exteriores de edifícios. Contudo, dada a curta durabilidade dos revestimentos por pintura de cal, recentemente ressurgiram no mercado tintas de resinas de silicatos alcalinos, já utilizadas desde a Antiguidade [Ribeiro e Eusébio, 2002].

2.3.2.2 Solvente

O solvente é um líquido simples ou uma mistura de líquidos, de baixa viscosidade e que evapora durante o processo de secagem da tinta. Todos os solventes apresentam características comuns, como o poder solvente, a volatilidade ou a estabilidade química [Fiúza, 2009]. O solvente pode ser orgânico (tintas de base solvente) ou água (tintas de base aquosa).

O tipo de solvente tem um papel importante na formação da película e no tempo de secagem e endurecimento da tinta [Fiúza, 2009]. A sua finalidade é tornar o ligante suficientemente líquido para que a tinta seja facilmente aplicável, podendo o ligante encontrar-se totalmente dissolvido ou disperso no solvente [Brito, 2009].

Na década de 50 do século XX, aparecem as primeiras tintas cujas resinas sintéticas se encontram dispersas ou emulsionadas em água, até então dissolvidas em solventes orgânicos, designadas por tintas de dispersão ou emulsão ou ainda por tintas plásticas [Eusébio, 1985a].

As tintas de base solvente apresentam geralmente melhor comportamento no que se refere à durabilidade mas, actualmente, procura-se substituir o maior número possível de solventes orgânicos por água. De facto, em quase todos países, já existem planos para limitar as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV) [Martin, 1994], [Vidal, 2005] [Nogueira, 2009].

As tintas de base aquosa apresentam vantagens de economia, de toxicidade, de segurança na aplicação, de limpeza após aplicação e de ambiente, preocupação crescente nos dias de hoje [Eusébio, 1985a]. Desta forma, as tintas para fachadas são maioritariamente tintas aquosas, contendo o ligante disperso na fase aquosa [Amaro, 2007].

2.3.2.3 Pigmentos

Os pigmentos são substâncias sólidas, em geral finamente divididas e praticamente insolúveis no veículo, usadas na preparação de tintas com o fim de lhes conferir opacidade e cor ou certas propriedades especiais [NP 41, 1982]. Os pigmentos podem ser orgânicos ou inorgânicos.

Uma tinta com boa capacidade de protecção tem na sua composição grande quantidade de pigmentos bem dispersos para que a penetração de ar ou sais seja a mais baixa possível [Fiúza, 2009]. Um dos pigmentos geralmente presente em todas as tintas é dióxido de titânio (TiO2), com grande poder de cobertura, conferindo-lhes brancura, luminosidade e opacidade.

A cor de um pigmento é fundamentalmente influenciada pela sua estrutura química, enquanto que a opacidade é fundamentalmente influenciada pelo seu índice de refracção [Nogueira, 2009]. Os pigmentos são também responsáveis pelas propriedades mecânicas, brilho, resistência aos produtos químicos e ao envelhecimento da tinta, embora em menor grau do que o ligante [Eusébio e Rodrigues, 1990]. De facto, pode dizer-se que praticamente todas as propriedades da tinta são afectadas pelo tipo e quantidade de pigmentos que contêm [Robbialac, 1958].

Numa perspectiva da durabilidade, a degradação da cor afecta o tempo de vida útil do revestimento por pintura. Este processo pode ter origem na incorrecta utilização de pigmentos. Nas tintas para fachadas, devem utilizar-se pigmentos adequados para exterior, mais resistentes. Geralmente, os pigmentos inorgânicos são apropriados para este efeito, apresentando estabilidade aos raios ultravioleta e uma boa resistência química [Lopes, 2008]. A Norma Portuguesa NP EN ISO 3688-21 [1994] descreve um método de comparação da estabilidade dos pigmentos ao calor.

Por último, refere-se que a cor não é apenas decorativa, já que influencia os comprimentos de onda absorvidos pelo revestimento. Segundo investigadores nesta área, tintas cor-de-rosa ou encarnadas absorvem a radiação de maior energia, sendo expectável uma degradação mais precoce da cor e, assim, um menor tempo de vida útil. Este aspecto é particularmente interessante no âmbito deste trabalho, pois é uma característica visível no contexto do levantamento de dados de campo (inspecções visuais), sendo assim um dos factores a ter em conta na posterior modelação da degradação.

2.3.2.4 Cargas

As cargas são substâncias inorgânicas sob a forma de partículas mais ou menos finas com fraco poder de cobertura e insolúveis nos ligantes [NP 41, 1982]. As cargas podem-se classificar, segundo a sua origem, em cargas naturais e cargas artificiais.

Apesar do seu fraco poder corante e de cobertura, utilizam-se para dar corpo à tinta ou com o objectivo de lhe modificar certas propriedades como a permeabilidade da película, a resistência química, o brilho, a viscosidade e a resistência à abrasão. Podem assim melhorar a durabilidade e a qualidade do revestimento e conferir determinadas propriedades específicas como o isolamento térmico e acústico e a resistência ao fogo [Eusébio, 1985a], [Moura, 2008], [Nogueira, 2009].

Para além das razões descritas, os materiais de carga também são utilizados por razões de ordem económica, visto apresentarem um custo reduzido em relação aos pigmentos [Eusébio, 1985a].

Algumas das cargas mais utilizadas são o carbonato de cálcio, a sílica, o talco (silicato de magnésio hidratado), o caulino (silicato de alumínio) ou a barita (minério de sulfato de bário) [Fiúza, 2009].

2.3.2.5 Aditivos

Os aditivos são substâncias solúveis, líquidas ou em pó, que se adicionam à tinta em pequenas quantidades (menos de 5% em massa da tinta) com o objectivo de modificar uma ou mais propriedades [Eusébio, 1985a].

Os aditivos são usualmente classificados pela função que cumprem e não pela composição, química ou forma física de apresentação [Nogueira, 2009]. Desta forma, consoante a sua acção na tinta, os aditivos são classificados como construtivos (bactericidas, fungicidas e algicidas, secantes, molhantes e dispersantes e estabilizadores do comportamento dos revestimentos expostos à radiação ultravioleta) ou correctivos (anti-pele e anti-espuma) [Amaro, 2007, citando Barros, 2001].

Pelo referido, os aditivos podem prevenir o aparecimento de anomalias no revestimento, tendo um papel importante na degradação e na durabilidade dos revestimentos.

2.3.3 Principais parâmetros de uma tinta

Como mencionado, o tipo de ligante tem grande influência nas características finais de uma tinta. Nas tintas de resinas sintéticas, uma das principais características que define as propriedades do polímero é a temperatura de transição vítrea (T_g). Esta é a temperatura à qual um determinado polímero passa de um estado sólido para um estado mais flexível.

Desta forma, a temperaturas (ambientes e de secagem) inferiores à T_g, o polímero é frágil e duro, uma vez que o seu módulo de elasticidade é muito elevado e, por isso, o polímero tem uma extensibilidade muito baixa, apresentando mais tendência para a fissuração. À medida que a temperatura sobe, o módulo de elasticidade decresce de forma extremamente acentuada e o filme torna-se macio e elástico, acompanhando melhor as deformações do suporte [Amaro, 2007], [Fiúza, 2009].

A temperatura mínima de formação de filme (TMFF) é a temperatura à qual ocorre a coalescência das partículas, sendo esta característica de cada polímero. Está directamente relacionada com a T_g, sendo normalmente mais baixa do que esta devido à presença de plastificantes. Assim, as condições de secagem têm que garantir uma temperatura igual ou superior à temperatura mínima de formação de filme, senão a coalescência não ocorre.

Outro parâmetro importante nas propriedades do revestimento é a concentração em volume de pigmentos (PVC - Pigment Volume Concentration). Este termo é dado pela expressão [Eusébio, 1985a]:

$$\text{PVC} = \frac{\text{Volume de pigmentos e cargas}}{\text{Volume de pigmentos e cargas} + \text{Volume de ligante}} \times 100$$

O desempenho máximo de uma tinta ocorre quando se atinge o PVC crítico (PVC_c - Critical Pigment Volume Concentration), que é a concentração em volume de pigmentos para a qual o ligante consegue molhar todos os pigmentos e cargas e preencher os interstícios, formando um filme contínuo [Eusébio, 1985a].

Muitas propriedades variam drasticamente quando o PVC crítico é excedido:

- aumenta a porosidade do filme [Baumstark, 2005];
- aumenta a permeabilidade à água liquida e a permeabilidade ao vapor de água [Baumstark, 2005];
- aumenta o poder de cobertura [Baumstark, 2005];
- diminui a elasticidade: o filme torna-se mais quebradiço, favorecendo a fissuração [Amaro 2007 citando Schwartz e Baumstark, 2001] (Figura 2.3);
- aumenta a tendência para a pulverulência [Eusébio, 2007];
- o facto de as tintas serem formuladas com altos PVC pode explicar o aparecimento de manchas (zonas com ou sem brilho) [Eusébio, 2007].

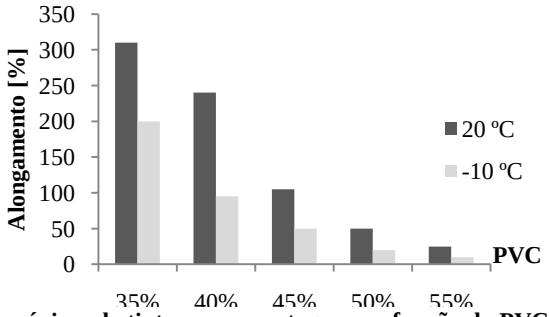


Figura 2.3 - Alongamento máximo da tinta em percentagem em função do PVC [adaptado de Baumstark, 2005]

Abaixo do PVC crítico, as partículas de pigmentos e cargas perdem contacto entre si, sendo separadas pelo ligante. A resistência à água, aos agentes de degradação climatérica, o brilho, a dureza e flexibilidade aumentam [Baumstark, 2005], assim como a pegajosidade do filme, favorecendo a adesão de sujidade [Fiúza, 2009, citando Barros, 2001].

Na Figura 2.4, apresenta-se o mercado de tintas de base aquosa em Portugal, em função do respectivo PVC. As tintas formuladas com alto PVC são dominantes, certamente por apresentarem geralmente preços mais baixos.

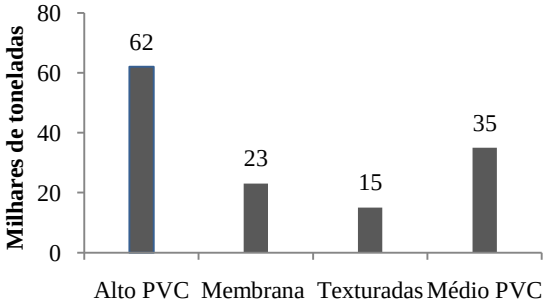


Figura 2.4 - Mercado de tintas em Portugal em função do PVC, em 2003 [Gonçalves, 2005].

Os métodos de determinação do teor de pigmentos e cargas de uma tinta podem ser consultados nas Normas Portuguesas em vigor, nomeadamente NP 679 [1998], NP ISO 14680-1 [2001], NP ISO 14680-2 [2001], NP ISO 14680-3 [2002]. O método de determinação do teor de ligante é descrito na Norma Portuguesa NP 185 [1997].

Desta forma, tanto a temperatura de transição vítrea do polímero, como a concentração em volume de pigmentos de uma tinta, têm grande influência no comportamento desta à exposição exterior. A radiação ultravioleta e a humidade degradam a película, destruindo o ligante à superfície do revestimento e expondo as partículas de pigmentos e cargas. São desta forma parâmetros importantes a determinar aquando da formulação da tinta, no âmbito da previsão da vida útil de revestimentos por pintura.

Outros parâmetros importantes no comportamento do revestimento são a massa volúmica [NP ISO 2811-1, 1999], [NP EN ISSO 2811-4, 2007], a reologia e viscosidade [NP 234, 1995], [NP EN ISSO 2431, 1998], [NP EN ISO 2884-1, 2008], [NP EN ISO 2884-2, 2008] - que conferem melhor ou pior aplicabilidade - o tamanho das partículas, a tensão superficial, a estabilidade e o valor de pH da tinta [Fiúza 2009].

2.3.4 Tipos de produtos

De acordo com a Norma Portuguesa [NP 42, 1982], existem dois critérios para classificar as tintas:

- classificação quanto à natureza do veículo volátil;

- classificação quanto à natureza do veículo fixo.

Apesar de qualquer das referidas classificações incluir todas as tintas, é aconselhável classificar a tinta consoante a natureza do veículo fixo pois é a que dá maior informação sobre o possível comportamento do revestimento [Eusébio, 1985a].

Interessa, por um lado, descrever os principais tipos de tintas utilizados em rebocos exteriores e, por outro, classificar as tintas em grupos identificáveis no trabalho de campo, no âmbito das inspecções visuais posteriormente realizadas. Contudo, é expectável a dificuldade em obter dados relativamente ao tipo de tinta aplicado, pelos motivos a seguir enumerados:

- os especialistas consultados revelam grande dificuldade em distinguir o tipo de tinta aplicado em paredes sem recorrer a análises de laboratório, incerteza sentida até por investigadores com largas décadas de experiência nesta área;

- existe uma falta de registos de obra, fiáveis ou facilmente disponíveis, onde se especifique quais os revestimentos por pintura aplicados e o comportamento observado durante ou após a sua aplicação [Brito, 2009];

- mesmo ultrapassando a falta de informação referida, um estudo realizado na cidade do Porto numa amostra de 1845 habitações verificou que, em cerca de 25% dos empreendimentos analisados, os revestimentos de fachadas, especificadas no caderno de encargos, não foram respeitados [Oliveira, 1996];

- existem, hoje em dia, milhares de produtos tornando impossível memorizar os nomes, atributos, propriedades e limitações de todos eles [Moreira, 2006].

Desta forma, não faz sentido realizar uma abordagem exaustiva dos diferentes tipos de tintas existentes, dadas as dificuldades existentes em obter este dado e, consequentemente, em modelar a degradação em função do tipo de tinta aplicado.

2.3.4.1 Produtos existentes

Após uma pesquisa dos produtos existentes no mercado para rebocos exteriores e consulta de Directores Técnicos de empresas nesta área, obtém-se a classificação apresentada na Figura 2.5.

Não foi possível obter percentagens dos tipos de tintas mais utilizadas em Portugal, não existindo dados acessíveis com este tipo de informação. Os únicos dados encontrados são referentes à Alta de Coimbra [Moura, 2008], num estudo realizado em cerca de 458 edifícios. Embora sejam predominantes as tintas de resinas orgânicas, existem ainda pinturas de cal numa percentagem não desprezável, situação que não se verifica em Lisboa (Figura 2.6).

Um estudo semelhante foi realizado por Brito [2009], apesar de mais específico visto que é referente a tintas utilizadas em intervenções de reabilitação em Portugal. Embora o universo estatístico tenha sido de apenas 38 respostas, são apresentadas as percentagens na Figura 2.7.

Desta forma, os trabalhos de Moura [2008] e Brito [2009], apesar de não se considerarem representativos da amostra estudada nesta investigação, podem dar uma ideia qualitativa dos produtos de pintura existentes.

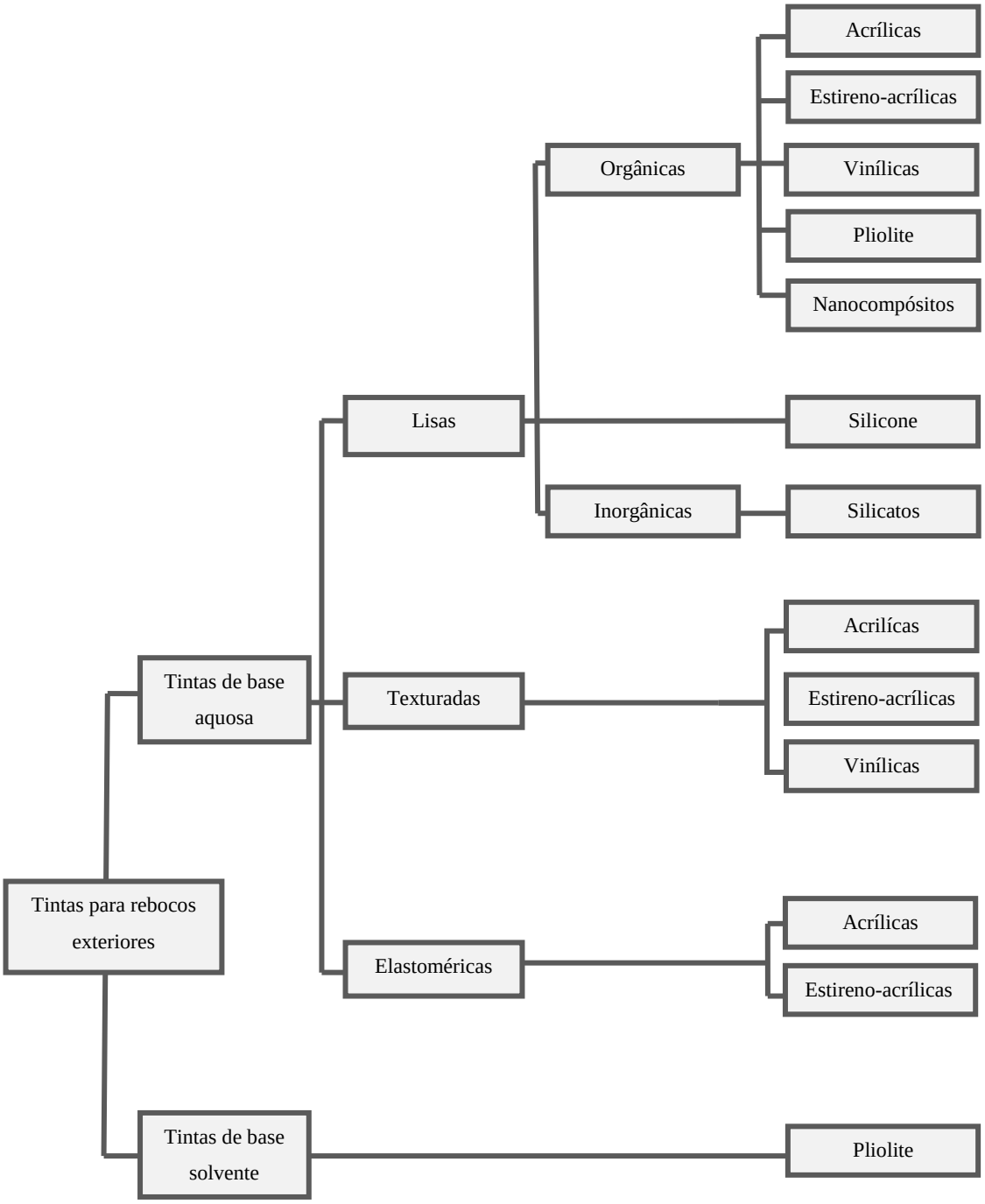


Figura 2.5 - Principais tipos de produtos existentes para rebocos exteriores

2.3.4.2 Classificação adoptada

Pelas razões apresentadas em 2.3.4, a classificação adoptada neste trabalho simplifica a da Figura 2.5. Divide assim as tintas mais utilizadas para rebocos exteriores (Figura 2.8) em tintas de base aquosa, entre as quais:

- tintas lisas tradicionais;
- tintas texturadas;
- tintas flexíveis ou elastoméricas;

- tintas de silicone;
- tintas não tradicionais;
- tintas de silicatos.

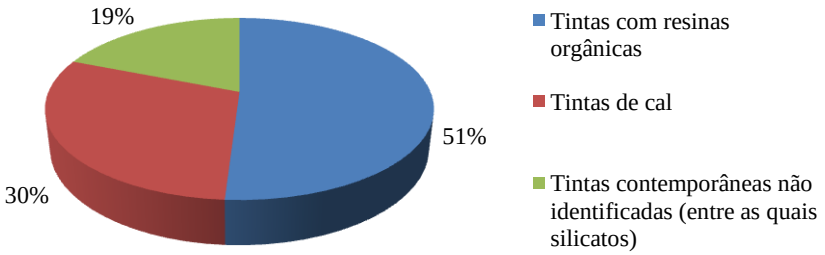


Figura 2.6 - Percentagens por tipo de tintas utilizadas em edifícios na Alta de Coimbra [adaptado de Moura, 2008]

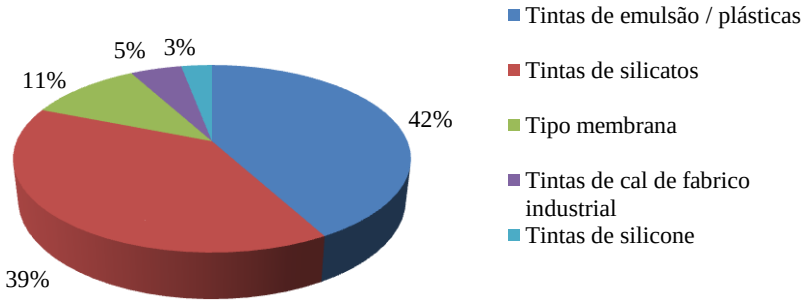


Figura 2.7 - Percentagens por tipo de tintas utilizadas em edifícios em intervenções de reabilitação em Portugal [Brito, 2009]

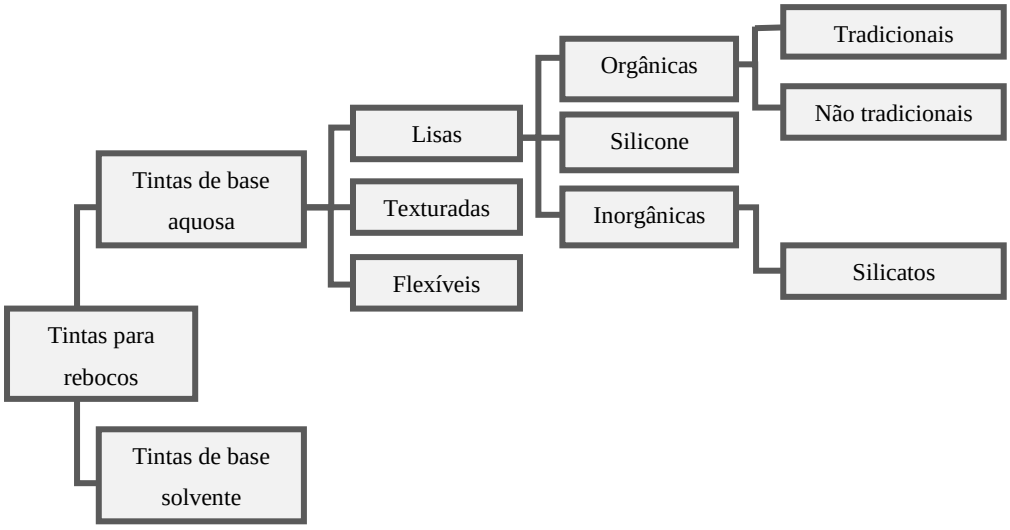


Figura 2.8 - Tintas mais utilizadas em rebocos exteriores

Todas as tintas referidas, excepto as de silicatos, são por vezes também designadas de tintas plásticas.

As tintas de base solvente, embora pouco utilizadas, serão descritas no que toca às suas vantagens e desvantagens relativamente às tintas aquosas.

Embora se descreva nos pontos seguintes cada um dos produtos da Figura 2.8, ,a perspectiva do trabalho de campo, a classificação adoptada identifica quatro grupos distintos dentro das tintas de base aquosa (Figura 2.9), dada a impossibilidade prática de distinguir o tipo de tinta aplicada, com maior detalhe, recorrendo apenas a inspecções visuais.

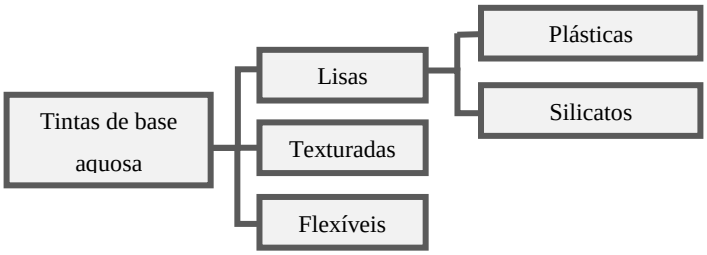


Figura 2.9 - Classificação adoptada no trabalho de campo

2.3.4.2.1 Tintas lisas tradicionais

As tintas lisas tradicionais são tintas de base aquosa, também designadas por tintas de emulsão ou de dispersão de polímeros e copolímeros acrílicos, estireno-acrílicos ou vinílicos. De uma forma geral, são tintas com uma boa aderência ao suporte, tendo propriedades médias no que se refere à permeabilidade ao vapor de água e à impermeabilidade à água líquida.

As emulsões acrílicas apresentam elevados custos de produção relativamente às dispersões estireno-acrílicas e vinílicas. O elevado preço destas é justificado pelas suas propriedades, que permitem produzir tintas de elevada resistência aos agentes atmosféricos - raios ultravioleta e água - e à alcalinidade, apresentando grande flexibilidade e dureza e uma alta retenção de brilho. Podem ainda ser reforçadas com quartzo e são particularmente indicadas para aplicações exteriores, com uma baixa concentração volumétrica em pigmentos [Amaro, 2007, citando Schwartz e Baumstark, 2001].

Os copolímeros estireno-acrílicos são também utilizados em tintas de exterior, essencialmente devido à favorável razão entre o seu preço e o seu desempenho. Permitem a obtenção de tintas flexíveis impermeabilizantes, com baixo teor de cargas [Amaro, 2007].

As tintas de dispersão vinílicas são utilizados preferencialmente em revestimentos de interior com níveis relativamente elevados de pigmentação, onde a natureza do polímero não é um factor tão dominante nas propriedades e onde a resistência aos efeitos climáticos não é uma exigência. As propriedades para tintas de exterior apenas são conseguidas com esta classe de ligantes, adicionando copolímeros de elevado preço [Fiúza, 2009, citando Barros, 2001].

Na Tabela 2.1, apresenta-se uma síntese das características e propriedades das tintas lisas tradicionais referidas.

2.3.4.2.2 Tintas texturadas

As tintas texturadas são geralmente tintas aquosas que originam um acabamento rugoso. A grande diferença entre as tintas lisas tradicionais e as tintas texturadas está na utilização de areias na formulação destas últimas. As areias são compostas essencialmente por sílica, cargas de elevada resistência

Tabela 2.1 - Avaliação comparativa qualitativa do comportamento de tintas de emulsão segundo algumas propriedades e características [adaptado de Amaro, 2007]

	Resistência à saponificação	Absorção de água	Permeabilidade ao vapor de água	Resistência à exposição atmosférica
Emulsões acrílicas	++	++	+++	+++
Emulsões estireno-acrílicas	+++	+++	-	++
Emulsões vinílicas	+	+	-	+

Dados não encontrados (-); Melhor comportamento (+++); Comportamento médio (++); Pior comportamento(+)

O seu aspecto irregular e rugoso é indicado para disfarçar algumas anomalias que possam existir nas fachadas, como pequenas fissuras ou destacamentos do reboco antigo, sem ser necessário rebocar novamente as paredes. Conforme o tipo de desenho que se pretende, mais suave ou mais acentuado, utilizam-se areias de granulometrias diferentes (tintas texturadas finas ou tintas texturadas tradicionais) [Amaro, 2007].

As tintas texturadas, quando bem produzidas e aplicadas em paramentos adequados, têm maior resistência e durabilidade do que as tintas lisas tradicionais. Por outro lado, devido ao facto de apresentarem rugosidades elevadas, têm grande tendência para acumular sujidades. Desta forma, surgiram recentemente no mercado tintas auto-laváveis, mas estas só têm eficácia nas zonas com incidência directa da chuva [Moura, 2008].

Além da presença da sílica, há outro factor responsável pelo aumento da durabilidade: a espessura de tinta aplicada é superior, podendo atingir a ordem do milímetro. Assim, aumenta-se o seu poder de protecção ao substrato. Este facto explica também a incompatibilidade destas tintas com algumas resinas, nomeadamente as de silicone, que apenas podem ser aplicadas em tintas de película fina; caso contrário, surge fissuração.

O aumento da espessura da camada de tinta aplicada, diminui a porosidade do revestimento e dá origem a tintas com menor permeabilidade ao vapor de água [Amaro, 2007] e com maior tendência para a perda de aderência (destacamentos e empolamentos). Pelo referido, as tintas texturadas não são aconselháveis na reabilitação de edifícios antigos, cujas paredes apresentam elevado teor de água e de sais solúveis e são bastante porosas [Ribeiro e Eusébio, 2002]. Além da sua rugosidade não ser esteticamente adequada, impedem a saída de água do interior para o exterior da construção, originando os fenómenos de degradação referidos.

2.3.4.2.3 Tintas flexíveis

As tintas flexíveis, também designadas por tintas elastoméricas ou membranas elásticas, são praticamente, hoje em dia, tintas de base aquosa de resinas acrílicas e estireno-acrílicas [Amaro, 2007]. Estas tintas surgem para melhorar algumas propriedades das tintas lisas tradicionais, nomeadamente no que se refere à impermeabilidade à água líquida.

Estas tintas têm também um papel importante em rebocos fissurados, sendo aplicadas no tratamento das fissuras existentes (fissuras inferiores a 0.3 mm) [Cin, 2010b]. A abertura das fissuras depende da temperatura e da humidade a que estão expostos os rebocos. Desta forma, uma das propriedades principais das membranas é apresentarem elasticidade suficiente para acompanhar as deformações e movimentos do suporte. Na investigação de Cunha [2009], referente a tintas para rebocos de cimento fissurados em fachadas exteriores, foi este o parâmetro analisado nos estudos experimentais, condicionante na adequabilidade ou não para rebocos fissurados. Para se obter elasticidade, estas tintas são formuladas a baixa concentração volumétrica de pigmentos. Para se conseguir que esta característica se mantenha a baixas temperaturas, têm de se utilizar plastificantes não voláteis que aumentam fortemente a aderência de sujidade [Amaro, 2007, citando Schwartz e Baumstark, 2001].

Além das características referidas, estas tintas permitem aplicar espessuras muito superiores às que normalmente se conseguem aplicar com as tintas tradicionais. Por esta razão, são tintas que oferecem maior protecção aos substratos e maior impermeabilização à água. Contudo, apresentam as mesmas desvantagens do que as tintas texturadas, no que toca à saída de água líquida e de vapor de água, de que resulta restrição à aplicação em edifícios antigos.

Especialistas consultados oralmente referem que, na década de 90 do século XX, se recorreu bastante a membranas elásticas como revestimento de edifícios novos. Contudo, estas impedem a saída da água da construção, dando origem a várias anomalias precoces. Estas tintas são, de facto, sobretudo adequadas a superfícies fissuradas, no contexto da repintura de edifícios novos.

2.3.4.2.4 Tintas de silicone

As tintas de emulsão de resinas de silicone (ou tecnicamente resinas de siloxano) têm uma parte orgânica e outra inorgânica. São desta forma classificadas entre estes dois grupos de ligantes. A parte inorgânica pode ser constituída de cal e a parte orgânica é composta por uma resina de silicone e uma resina acrílica ou estireno-acrílica. Segundo normas internacionais [DIN 18363-10, 2006], a percentagem de emulsão de resinas de silicone tem de ser de pelo menos 40% do total do ligante.

As tintas de silicone são formuladas com uma elevada concentração em volume de pigmentos (acima da concentração em volume de pigmentos crítica), apresentando-se assim a superfície muito porosa e permeável ao vapor de água [Amaro, 2007], dando origem a um filme com estruturas que permanecem abertas [Brito, 2009]. Nas Figuras 2.10 e 2.11, pode observar-se, à escala microscópica, a diferença entre a película formada por uma vulgar tinta de emulsão e por uma tinta com resinas de silicone

Por outro lado, o efeito hidrófugo dos seus poros faz com que a superfície da tinta tenha uma excelente repelência à água, minimizando a permeabilidade à água líquida e a sua absorção [Amaro, 2007, citando Schwartz e Baumstark, 2001].

Desta forma, as tintas de resinas de silicone têm a vantagem das tintas elastoméricas no que toca à impermeabilidade à água líquida, associada a uma permeabilidade ao vapor de água elevada. Têm assim menos tendência para anomalias do tipo destacamento, fissuração, empolamento [Fiúza, 2009] e manchas

de origem biológica [Brito, 2009]. Estas tintas apresentam ainda menor aderência de sujidade [Baumstark, 2005].

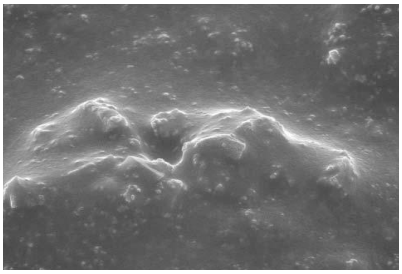


Figura 2.10 - Tinta de emulsão corrente (×5000) [Baumstark, 2005]

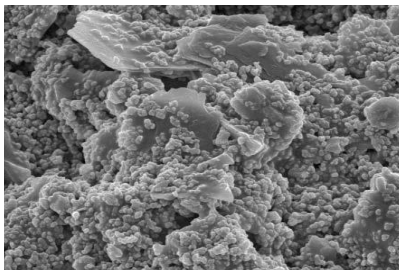


Figura 2.11 - Tinta de resinas de silicone (×5000) [Baumstark, 2005]

Como desvantagens, há a referir a fraca resistência à pulverulência, a baixa elasticidade, bem como a impossibilidade de formular tintas com alto brilho. De facto, assim como as tintas de silicatos e de cal, o seu acabamento é mate, apresentando, assim, vantagens em reabilitação de edifícios antigos.

2.3.4.2.5 Tintas lisas não tradicionais

As tintas lisas não tradicionais são tintas de emulsão constituídas por hidro-pliolite, existindo também no mercado algumas tintas de nanocompósitos, também designadas por nanotecnológicas.

As tintas com base em resinas de hidro-pliolite, em geral simplesmente designadas tintas de pliolite, têm como ligante uma resina de hidro-pliolite constituída por uma emulsão de copolímeros acrílicos. Estas tintas são produtos bastante recentes e sucederam às primeiras tintas de resinas de pliolite de base solvente.

São fabricadas a partir da tecnologia EBS (*Emulsified Binding System*), que permite que as partículas emulsionadas contenham no seu interior o polímero dissolvido num solvente, sendo esta a principal diferença entre estes produtos e as tintas lisas tradicionais [Eliokem, 2003]. Como se vê na Figura 2.12, as partículas em emulsão nas tintas de pliolite têm o dobro do tamanho das partículas dispersas dos ligantes tradicionais.

De acordo com a Eliokem [2003], a formação de filme apenas ocorre à superfície no caso das tintas lisas tradicionais. As tintas de pliolite apresentam uma maior capacidade de aderir ao substrato, podendo ser aplicadas em qualquer tipo de substrato, nomeadamente em superfícies de reboco ou sobre revestimentos por pintura de qualquer tipo. Alguns especialistas afirmam que podem mesmo ser aplicadas em rebocos húmidos.

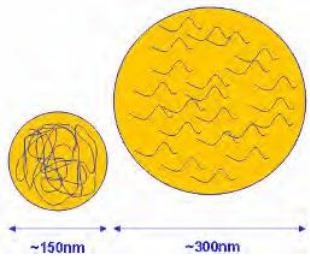


Figura 2.12 - Comparação do tamanho das partículas de dispersões aquosas tradicionais (à esquerda) e de pliolite (à direita) [Eliokem, 2003]

O processo de secagem destas tintas, abordado mais à frente, explica a elevada resistência à alcalinidade e à água, por serem mais permeáveis ao vapor de água (devido à micro-porosidade) e menos permeáveis à água líquida (devido às propriedades hidrófugas). São assim mais resistentes a microrganismos [Brito, 2009]. Actuam simultaneamente como primário e tinta de acabamento e englobam as vantagens das tintas aquosas, justaposta com uma elevada adesão, característica das tintas de base solvente. De uma forma geral, apresentam maior durabilidade [Amaro, 2007].

As tintas de nanocompósitos são as tintas mais recentes no mercado, reflectindo a procura por materiais de construção economicamente vantajosos, favoráveis ao ambiente e com elevada durabilidade. De acordo com Nennemann et al. [2009], a nanotecnologia tem uma elevada margem de evolução e vai assumir, cada vez mais, um papel fundamental na formulação de produtos de pintura. Em Portugal, algumas das maiores empresas nesta área, estão na fase de desenvolvimento deste produto. Existem já edifícios pintados com tintas de nanocompósitos, pelo que se opta por uma breve descrição.

Através da utilização de dispersões híbridas orgânicas / inorgânicas baseadas em nanocompósitos, é possível conjugar as vantagens dos materiais orgânicos (como a elasticidade e a resistência à água) e inorgânicos (a dureza e a permeabilidade ao vapor de água), evitando a utilização de solventes [Fiúza, 2009]. A grande diferença relativamente às outras tintas é a incorporação de partículas inorgânicas de sílica (Figura 2.13).

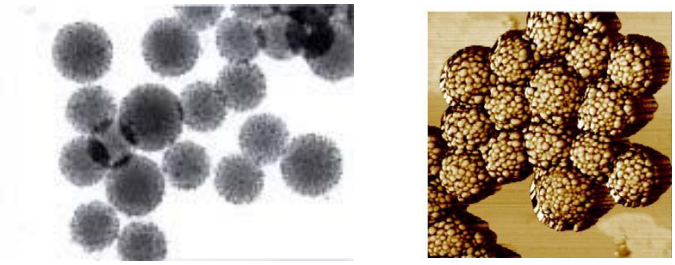


Figura 2.13 - Estrutura de uma tinta de nanocompósitos (×40000) [Baumstark, 2005]

Estas tintas apresentam boas propriedades e características, tais como [Baumstark, 2005]: elevada resistência mecânica, à sujidade, à água e química, sendo muito adequadas em ambientes marítimos; elevada dureza e permeabilidade ao vapor de água; excelente aderência a substratos minerais, com rápida formação de filme e bom comportamento ao fogo.

2.3.4.2.6 Tintas de silicatos

As tintas de dispersão de silicatos inserem-se numa categoria diferente de todas as tintas referidas anteriormente. Apesar de serem também tintas de base aquosa, são designadas de tintas inorgânicas ou minerais e não se inserem no grupo das designadas tintas plásticas.

As tintas de silicato são constituídas por um ligante inorgânico, o silicato de potássio, e por um ligante orgânico, geralmente uma dispersão acrílica. Segundo a norma em vigor [DIN 18363-10, 2006] e para garantir uma formulação basicamente mineral, a quantidade de matéria orgânica não pode ultrapassar 5% do peso total do produto formulado. O ligante orgânico adicionado funciona não só como estabilizante, mas também acaba por melhorar a protecção à humidade, a resistência à pulverulência e a adesão. A elevada tendência para a pulverulência é uma das principais desvantagens das tintas de silicatos [Amaro, 2007, citando Schwartz e Baumstark, 2001].

O processo de secagem destas tintas é algo complexo, uma vez que o endurecimento depende de reacções químicas que ocorrem com o suporte e com o dióxido de carbono. Em termos gerais, o processo de endurecimento das tintas de silicatos denomina-se petrificação, uma vez que a ligação é essencialmente química e não física, ocorrendo reacções entre os componentes das tintas e os constituintes de natureza mineral do substrato [Amaro, 2007], [Brito, 2009], [Fiúza, 2009]. Assim, estas tintas têm muito menos tendência para anomalias do tipo destacamento, sendo esta característica particularmente importante no contexto de inspecções visuais.

Desta forma, as tintas de silicatos não podem ser aplicadas em substratos orgânicos pois não ocorreria reacção entre o substrato mineral e a tinta. É assim totalmente desaconselhável a aplicação sobre tintas convencionais (plásticas e de solventes). Regra geral, os revestimentos por pintura de silicatos incluem um primário, também com base em silicato, o que permite, segundo indicações dos fabricantes, a uniformização da absorção do suporte, assim como melhorar a sua coesão [Brito, 2009].

Outra das propriedades que caracteriza este tipo de tinta é a incombustibilidade, tendo assim grande resistência ao fogo. Esta característica é também particularmente importante neste trabalho, pois permite distinguir as tintas de silicatos das tintas correntes. Retirando uma pequena película de pintura da fachada, se esta arder, está-se perante uma tinta plástica [Moura, 2008].

A utilização de tintas de silicato em substratos minerais inorgânicos tem vindo a aumentar consideravelmente nos últimos anos devido às suas propriedades, designadamente boa resistência à humidade, baixa permeabilidade à água, alta permeabilidade ao vapor de água devido à morfologia porosa destas tintas e resistência ao desenvolvimento de fungos e algas (os nutrientes são escassos).

O aspecto final dos revestimentos com base em silicatos é, em geral, mate e, em diversos casos, muito semelhante ao das pinturas de cal, tendo assim um papel importante no contexto da reabilitação de edifícios antigos [Tavares, 2002], [Ribeiro e Eusébio, 2002], [Veiga e Tavares, 2002], [Brito, 2009].

As características descritas correspondem a desempenhos teóricas. Na prática, os revestimentos de silicatos podem incluir uma percentagem variável de ligante orgânico, o que pode influenciar as suas propriedades.

Na Tabela 2.2, apresenta-se uma tabela síntese das características e propriedades de algumas das tintas de base aquosa descritas. Na Figura 2.14, apresenta-se a classificação segundo a permeabilidade ao vapor e à impermeabilidade à água.

Tabela 2.2 - Avaliação do comportamento de alguns tipos de tintas aquosas segundo as suas propriedades e características [adaptado de Baumstark, 2005; Moura, 2008; Cin, 2010a]

		Tintas lisas tradicionais	Tintas texturadas	Tintas de silicone	Tintas de silicatos
Propriedades	Permeabilidade ao vapor de água	Média	Baixa	Elevada	Elevada
	Impermeabilidade à água	Média	Muito elevada	Muito elevada	Baixa
	Durabilidade	Bom	Muito bom	Bom	Bom
	Resistência ao choque	Muito bom		Bom	Mau
	Resistência à sujidade	Médio		Bom	Muito bom
	Elasticidade	Média		Baixa	Muito baixa
Características	Acabamento	Liso. Brilhante ou mate	Rugoso	Liso. Mate	Liso. Mate
	Cores disponíveis	Muitas, incluindo fortes	Muitas, incluindo fortes	Médias e claras	Poucas e claras
	Uso em reabilitação de edifícios antigos	Não é adequado	Não é adequado	Adequado	Adequado
	Aplicação em superfícies de betão armado	Bom	Adequado	Mau	Adequado

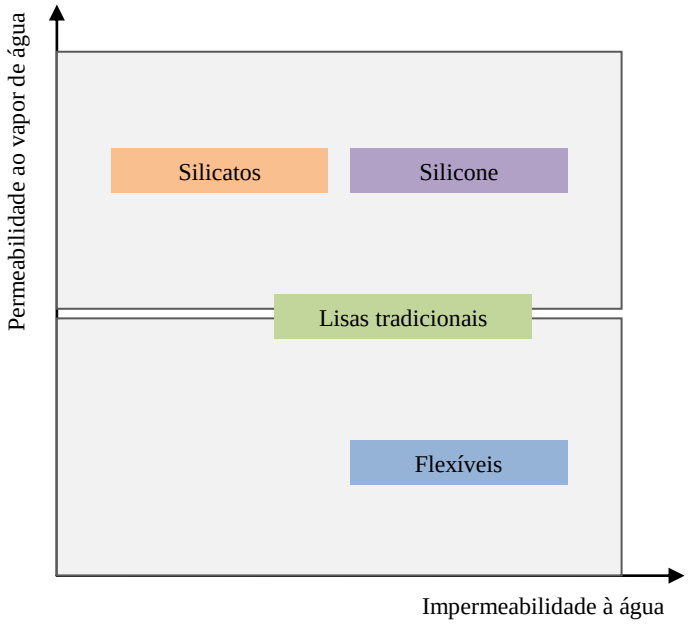


Figura 2.14 - Classificação de tintas aquosas segundo a permeabilidade ao vapor e à impermeabilidade à água [Cin, 2010a]

2.3.4.2.7 Tintas de base solvente

De acordo com Motohashi [2008], cerca de 30% da quantidade de compostos orgânicos voláteis (COV), emitidos para a atmosfera e provenientes de actividades humana, têm origem em trabalhos de pintura. Assim, a Directiva 2004/42/CE limita as emissões de compostos orgânicos voláteis resultantes da utilização de solventes orgânicos em tintas. Os limites existentes para tintas de base solvente são naturalmente menos exigentes do que para tintas de base aquosa (as tintas de base aquosa têm sempre uma percentagem de solvente) [Secher, 2005]. As Normas Portuguesas actualmente em vigor para determinar o teor de compostos orgânicos voláteis são a NP EN ISO 11890-1 [2009] e a NP EN ISO 11890-2 [2009].

Apesar da tendência para a redução da sua utilização devido às referidas questões ambientais, as tintas de base solvente são ainda utilizadas em situações especiais devido às suas boas características de aderência ao suporte, impermeabilidade à água e resistência à retenção de sujidade [Rodrigues e Eusébio, 2005a].

Geralmente apresentam uma elevada resistência à penetração de gases e de água, uma reduzida permeabilidade ao vapor de água [Nogueira, 2009] e uma secagem mais rápida do que as tintas de base aquosa [Figueras, 2009].

O processo de formação de filme é menos afectado pelas condições climáticas, nomeadamente a temperatura e a humidade, do que no caso das tintas aquosas [Rodrigues e Eusébio, 2005a citando Duval, 2003]. São tintas bastante resistentes às intempéries e aos álcalis [Moura, 2008].

Têm também uma boa capacidade de penetração em suportes porosos e de aglutinação de superfícies pulverulentas. Estas características justificam o facto de produtos de pintura de base solvente serem ainda usados, sobretudo como primários e selantes em superfícies rebocadas [Rodrigues e Eusébio, 2005a].

2.3.5 Tipo de suporte

Em edifícios e mais concretamente em rebocos, o tipo de suporte tem um papel muito importante no tipo de tinta a aplicar. Embora este parâmetro não tenha sido analisado no presente trabalho devido à falta de informação, distinguem-se as tintas destinadas a argamassas de cal, em edifícios antigos, e a argamassas de cimento, em edifícios novos.

As paredes dos edifícios actuais são construídas de forma a impedir, tanto quanto possível, a penetração da água do exterior. Pelo contrário, o modelo de funcionamento das paredes antigas, mais espessas e porosas, admitia a entrada de água para o interior da alvenaria mas evitava uma permanência prolongada, procurando promover a sua fácil e rápida saída para o exterior. As intervenções de conservação e reabilitação a realizar sobre edifícios antigos devem respeitar os modelos de funcionamento originais [Veiga e Tavares, 2002], [Appleton, 2003], [Veiga, 2006].

Vários estudos recentes têm investigado a adequabilidade de diversas tintas em edifícios antigos [Ribeiro e Eusébio, 2002], [Tavares, 2002], [Veiga e Tavares, 2002], [Veiga, 2006], [Almeida e Souza, 2007], [Brito, 2009]. De facto, a aplicação de tintas plásticas em edifícios antigos, além do mau desempenho

funcional de protecção, podem mesmo contribuir para acelerar a degradação dos suportes, pela imposição de uma película que pode funcionar como barreira impermeável, alterando o seu comportamento global à água [Ribeiro e Eusébio, 2002]. Estas tintas apresentam também, em geral, uma aderência deficiente às superfícies frágeis e muitas vezes com baixa coesão superficial dos rebocos de cal, sejam eles antigos ou de substituição. Assim, surgem facilmente vários tipos de degradação, tais como empolamento, fissuração e destacamento. Dada a reduzida durabilidade da cal, surgiram, recentemente, tintas com acabamento do tipo mineral, nomeadamente tintas de silicatos, tintas de silicone (siloxano) e tintas de pliolite, indicadas como adequadas à repintura de edifícios antigos.

Contudo, o recente estudo de Brito [2009], além de apenas ter obtido resultados satisfatórios para as tintas de silicatos, chegou a resultados da ordem de 53% de tintas plásticas e membranas usadas em reabilitação de edifícios antigos em Portugal. Esta situação explica certamente muitas situações de perda de aderência, nomeadamente do tipo destacamento e empolamento, existentes em edifícios antigos, que contribuem muito significativamente para a diminuição do tempo de vida útil dos revestimentos.

2.3.6 Sistema de pintura

O conjunto das tintas aplicadas segundo um determinado esquema de pintura e que se destina a assegurar a protecção do suporte e/ou conferir-lhe determinadas propriedades constitui o sistema de pintura [Eusébio, 1985a].

O conjunto de tintas a aplicar sobre o suporte em camadas sucessivas e por ordem conveniente designa-se por esquema de pintura [Eusébio, 2007]. Pode ser:

- monocamada, constituída por uma só camada de produto;
- multicamada, constituída por várias camadas de produto

Um esquema de pintura adequado deve ter em conta o tipo de substrato, as condições ambientais a que será exposto o revestimento e as exigências estéticas e funcionais pretendidas.

As camadas de um esquema de pintura devem ser física e quimicamente compatíveis. O esquema de pintura é geralmente constituído por um primário, uma subcapa e uma tinta de acabamento.

Os primários aplicam-se directamente sobre o suporte e têm como função homogeneizar e conferir características tais como:

- criar uma boa base de aderência para as películas de tintas seguintes e regularizar a superfície;

- estabilizar, selar e aglutinar as partículas soltas do suporte, nomeadamente se existir pulverulência no reboco;

- conferir propriedades especiais como anti-salitre, anti-fungos, entre outras;

- possuir resistência química e à intempérie suficientes para proteger a superfície enquanto não são aplicadas as restantes demãos;

- acção antialcalina, devido à elevada alcalinidade do substrato;

- uniformização da absorção do suporte, sobretudo se este vier a apresentar diferenças de porosidade;

- acção hidrofugante, como primeira barreira à humidade.

Estes produtos, tal como as tintas, podem ser de base aquosa e base solvente e ainda orgânicos e inorgânicos. Os principais primários utilizados são acrílicos, de silicatos ou de silicone. Algumas tintas, nomeadamente as texturadas, podem ser usadas como primários para melhorar a aderência ao suporte, aliado ao seu baixo custo.

O sistema de pintura pode ainda englobar redes de fibra de vidro ou tecidos de nylon, para reforçar o revestimento e melhorar a aderência.

A subcapa pode ou não estar presente, sendo incorporada no sistema de forma a proporcionar uma espessura total adequada e uma boa ligação entre o primário e a tinta de acabamento.

As tintas de acabamento é a que confere ao revestimento a cor final, o brilho e outras características já referidas.

2.3.7 Tecnologia de aplicação em obra

No comportamento do posterior revestimento por pintura, além de um adequado esquema de pintura, a escolha do processo de aplicação tem também grande influência na durabilidade. Um bom esquema de pintura mal aplicado dará origem a um mau comportamento em serviço [Eusébio, 1985a].

Desta forma, deverá assegurar-se uma correcta preparação da superfície a pintar, um adequado processo de aplicação, consoante o tipo e o fim a que se destina o revestimento e, por último, cumprir as condições de aplicação recomendadas.

2.3.7.1 Preparação da superfície

A preparação da superfície compreende um conjunto de operações que têm por fim obter uma superfície homogénea, de rugosidade conhecida e apta a receber a pintura [Eusébio, 1991]. A durabilidade de qualquer sistema de pintura pode ser fortemente influenciada pelo cuidado tido nessa operação, pelo que é muito importante especificar o tratamento correcto da superfície e procurar que a sua execução seja cumprida.

As operações fundamentais de preparação para qualquer superfície são a limpeza, a adequação da rugosidade, a reparação e regularização e, por fim, os tratamentos prévios. Todas estas operações, em

conjunto, contribuem para o aumento da aderência entre a superfície e a tinta [Cunha, 2009, citando Uemoto, 2002].

A limpeza é um dos aspectos principais na preparação das superfícies. Procura-se garantir uma superfície isenta de óleo, pó, gordura, sais e de partículas soltas, de forma a garantir que haja um contacto directo entre a tinta e o substrato. Existem diversos métodos de limpeza, nomeadamente [ASTM D4258-05, 1999]:

a) Métodos físicos
- limpeza com ferramentas manuais (lixas e escovas);
- com ferramentas mecânicas;
- por jacto de água;
- por projecção abrasiva.

b) Métodos químicos
- limpeza com solventes;
- com detergentes;
- com soluções ácidas;
- com produtos alcalinos.

A adequação da rugosidade consiste essencialmente em melhorar a aderência física, aumentando a área superficial de contacto entre a tinta e o reboco [Eusébio, 1985a].

A reparação e regularização da superfície são essenciais para homogeneizar a superfície. Consistem essencialmente no preenchimento de fissuras, de lacunas, empolamentos ou destacamentos e na regularização de possíveis ondulações [Cunha, 2009].

Os tratamentos prévios constituem a última fase de preparação da superfície. Constituem simultaneamente a primeira camada do esquema de pintura, o primário. Os tratamentos prévios ou primários foram descritos anteriormente.

No caso de repintura de edifícios, consoante as anomalias detectadas na tinta antiga, pode-se ter de remover o revestimento antigo, nomeadamente em casos de perda de aderência. Caso a tinta só apresente eflorescências sobre a película (sem perda de aderência), após a sua remoção e a aplicação de um tratamento anti-alcalino, aplica-se a nova pintura [Eusébio, 1991]. Nesta situação, em que não é necessária a remoção do antigo revestimento, deve testar-se a sua compatibilidade com a nova tinta aplicada. A título de exemplo, uma tinta de silicatos não pode ser aplicada sobre tintas de ligante orgânico [Rodrigues e Eusébio, 2005a]. Informação detalhada pode ser consultada no estudo de Lopes [2008].

2.3.7.2 Processos e condições de aplicação

São abordados os diferentes processos e as condições de aplicação que devem ser cumpridas, durante a fase de aplicação do produto de pintura.

2.3.7.2.1 Processos de aplicação da tinta

Existem diversos processos de aplicação das tintas, cuja escolha mais adequada a cada situação depende de diversos factores como o acabamento final pretendido, a forma e dimensão da superfície a ser revestida, a rapidez de aplicação, a espessura pretendida e, evidentemente, aspectos de ordem económica.

Os processos de aplicação podem dividir-se em processos de aplicação manual e processos de aplicação automática. Na primeira categoria, destacam-se:

- os rolos convencionais, de pêlo comprido para tintas elastoméricas e texturadas, e de pêlo curto, para as restantes tintas de base aquosa;
- os rolos de esponja, muito utilizados em fachadas;
- os rolos anti-gota, que evitam salpicos em tintas mais fluidas, como é o caso das tintas aquosas (excepto as elastoméricas e texturadas);
- a trincha e o pincel, para pequenas áreas ou recortes.

Nos métodos de aplicação automáticos, destacam-se as pistolas, entre as quais as pneumáticas ou convencionais, e as pistolas *airless*, que evitam a existência de vazios na tinta aplicada.

A aplicação da tinta deve começar sempre do topo da fachada e nunca se deve interromper a pintura dum painel completo. Todos os elementos existentes nas fachadas como portas, janelas ou possíveis ornamentos devem ser protegidos com fita isoladora antes de se realizar a pintura.

2.3.7.2.2 Condições para aplicação da tinta

As condições de aplicação da tinta são importantes para garantir uma secagem adequada e, consequentemente, uma boa aderência ao substrato.

Relativamente às condições ambientais, há a referir:

- a temperatura ambiente não ser inferior a 5 ºC nem superior a 35 ºC;
- deve evitar-se a exposição da tinta ao sol forte;
- o ar deve estar suficientemente seco, isto é, a humidade relativa não deve ser superior a 85%; caso contrário, a água não consegue evaporar, não havendo lugar à formação de filme;
- não deve haver poeiras em suspensão no ar, nem vento forte.

Relativamente ao reboco, devem garantir-se geralmente teores de humidade inferiores a 5% para se conseguir uma boa aderência entre este e a tinta [Robbialac 1958].

2.4 Características gerais de revestimentos por pintura

A presença de um revestimento por pintura, com características adequadas, pode evitar a degradação dos rebocos exteriores, protegendo-os contra a acção do meio ambiente (poluição, chuvas ácidas, agentes químicos) e evitando a penetração de água e a ocorrência de uma série de fenómenos que lhe estão associados (condensações, solubilização de sais presentes no seu interior e seu arrastamento para a superfície, variação acentuada das condições higrométricas no interior da parede) [Rodrigues e Eusébio, 2005a].

Interessa assim abordar as exigências funcionais a cumprir pelos revestimentos de paredes exteriores, assim como as principais características e propriedades a avaliar num revestimento por pintura, numa perspectiva de avaliação de qualidade e, consequentemente, do seu comportamento ao longo do tempo. Por outro lado, referem-se os principais factores que afectam a durabilidade do revestimento e os factores de selecção dos mesmos.

2.4.1 Formação da película seca

Os revestimentos por pintura, contrariamente aos revestimentos de pedra natural ou cerâmicos, são o resultado do processo de secagem e cura da matéria prima (tinta) aplicada no suporte. Um desajuste na velocidade de evaporação do solvente pode provocar má aplicabilidade da tinta, menor dureza ou falta de aderência [Nogueira, 2009]. De facto, este processo afecta todas as propriedades da película seca e, consequentemente, o comportamento do revestimento ao longo da sua vida útil.

O processo de secagem e endurecimento de uma película é complexo e por vezes de difícil explicação, pois a estrutura macromolecular constituída a partir do ligante, englobando os pigmentos, as cargas e os aditivos, é que vai permitir a formação de um película seca, dura e contínua [Eusébio, 1985a]. Uma abordagem mais exaustiva deste processo pode ser consultada detalhadamente na bibliografia de Eusébio [1985a], Moreira [2006] e Lopes [2008].

Em termos bastante gerais, o processo de cura pode acontecer por secagem física, ou seja, o filme é formado após a evaporação do solvente como é o caso das dispersões aquosas; ou por reacção química, na qual existe uma primeira fase de secagem física seguida de reacção química.

A secagem física, característica da maioria das tintas de base aquosa, entre as quais as tintas lisas tradicionais, texturadas , tintas flexíveis e as de silicone, inicia-se pela evaporação da água, aproximação das partículas umas às outras, seguida da coalescência, ou seja, a fusão das partículas entre si originando um filme contínuo. Na Figura 2.15, apresenta-se o processo de secagem. De acordo com Brito [2009], a formação de filme apenas ocorre à superfície no caso das vulgares tintas de emulsão, devido ao alto peso molecular dos polímeros e consequente solubilidade reduzida, sendo a penetração no substrato limitada. As tintas de base solvente apresentam uma secagem semelhante, com a diferença de a evaporação ser do solvente.

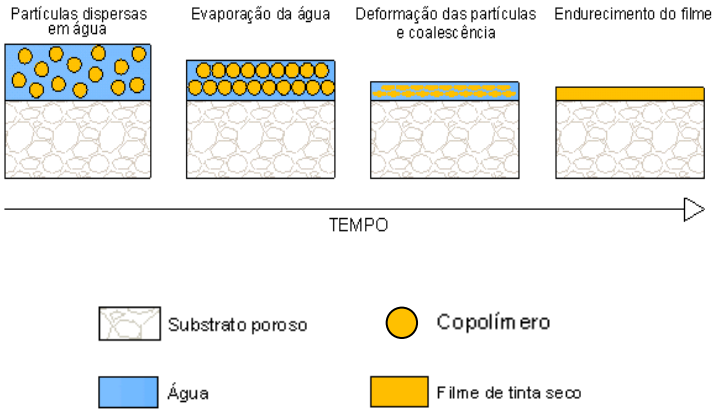


Figura 2.15 - Processo de secagem e endurecimento de tintas de emulsão referidas [adaptado de Eliokem, 2003]

A formação da película seca das tintas com base em resinas de pliolite é em tudo semelhante à das tintas de emulsão referidas. Contudo, após a coalescência, há evaporação do solvente que inicialmente se encontrava no interior das partículas emulsionadas, permitindo uma maior penetração do ligante nos poros do substrato e criando uma micro-porosidade adicional (Figura 2.16). Basicamente, estas tintas têm uma evaporação dupla, dando-se inicialmente a evaporação da água onde as partículas do ligante se encontram emulsionadas, a qual é seguida pela evaporação do solvente que se encontrava no interior dessas partículas de ligante [Brito, 2009].

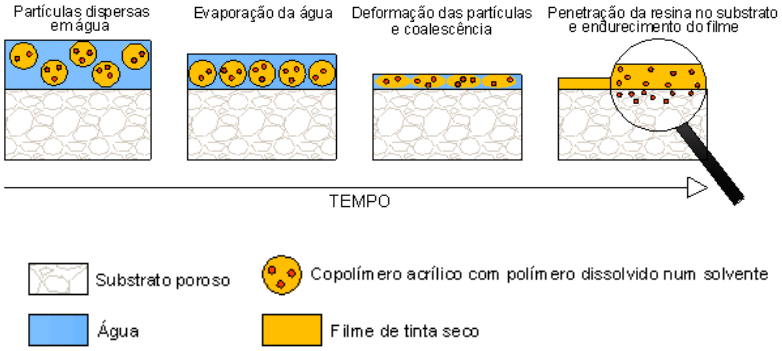

Partículas dispersas em água
Evaporação da água
Deformação das partículas e coalescência
Penetração da resina no substrato e endurecimento do filme
TEMPO
Substrato poroso
Copolímero acrílico com polímero dissolvido num solvente
Água
Filme de tinta seco

Figura 2.16 - Processo de secagem e endurecimento de tintas de resinas de hidro-pliolite [adaptado de Eliokem, 2003]

Na secagem por reacção química, característica das tintas de ligante mineral com base em silicatos, a secagem ocorre por reacção química, por um lado, do silicato de potássio com o dióxido de carbono do ar e, por outro, do hidróxido de cálcio do substrato com os silicatos [Rodrigues e Eusébio, 2005a], seguindo-se a reacção física de evaporação da água. Forma-se um produto vítreo insolúvel. A camada formada é assim, como referido na descrição destas tintas, fortemente aderente ao substrato mineral, com uma microestrutura porosa.

2.4.2 Exigências funcionais a cumprir pelos revestimentos por pintura

Na Tabela 2.3, apresentam-se as exigências funcionais que os revestimentos de paredes exteriores devem satisfazer. Alguns destes requisitos não são obrigatórios, podendo ou não ser cumpridos, dependendo do custo, da qualidade pretendida e da objectivo do revestimento por pintura.

Tabela 2.3 - Exigências funcionais de revestimentos de paredes [adaptado de Lucas, 1990b]

Exigências de segurança	Exigências de estabilidade	Estabilidade perante solicitações normais de uso	Peso próprio
			Solicitações climáticas
			Choques normais
		Estabilidade perante solicitações de ocorrência acidental	Choques acidentais
	Exigências de segurança no uso	Segurança no contacto	Rugosidade dos paramentos
			Temperatura dos paramentos
Exigências de compatibilidade com o suporte	Exigências de compatibilidade geométrica		
	Exigências de compatibilidade mecânica		
Exigências de estanqueidade	Exigências de estanqueidade à água	Estanqueidade à água da chuva	Permeabilidade à água
			Absorção de água
			Permeabilidade ao vapor
Exigências de conforto visual	Planeza	Planeza geral	
		Planeza localizada	
	Verticalidade		
	Regularidade e de perfeição da superfície	Defeitos de superfície	
		Largura das fissuras	
	Homogeneidade da cor e do brilho	Diferença de cor	
		Diferença de reflectância difusa	
Exigências de adaptação à utilização normal	Resistência a acções de choque e de atrito	Resistências aos choques	Choque de corpo mole
			Choque de corpo duro
	Resistência à acção da água	Água da chuva	
		Projecções acidentais de água	
		Lavagem por via húmida	
		Vapores húmidos	
	Aderência ao suporte	Resistência ao arrancamento por tracção	
		Resistência à peladura	
	Resistência à formação de nódoas de produtos químicos ou domésticos	Resistência à formação de nódoas	
		Lavabilidade	
	Resistência ao enodoamento por poeiras	Resistência à formação de nódoas	
		Lavabilidade	
	Resistência à suspensão de cargas		

Tabela 2.3 - Exigências funcionais de revestimentos de paredes [adaptado de Lucas, 1990b] (continuação)

Exigências de conforto táctil	Aspereza dos paramentos	Perfil geométrico da superfície
	Pegajosidade dos paramentos	
	Secura dos paramentos	
Exigências de higiene	Contra fixação de poeiras ou de microrganismos	Aspereza dos paramentos
		Pegajosidade dos paramentos
	Resistência à limpeza	
Exigências de durabilidade	Resistência a agentes climáticos	Resistência ao calor
		Resistência ao frio
		Resistência à água
		Resistência à luz
		Resistência aos choques térmicos
	Resistência aos produtos químicos do ar	Resistência ao ozono
		Resistência ao dióxido de azoto
		Resistência ao dióxido de enxofre
		Resistência a soluções amoníacas
	Resistência à erosão provocada por partículas sólidas em suspensão no ar	
	Resistência à suspensão e ao desenvolvimento de bolores	
Exigências termohigrométricas	Exigências de isolamento térmico	
Exigências de facilidade de limpeza		
Exigências de economia		

2.4.3 Propriedades dos revestimentos por pintura

As tintas para fachadas são normalmente aplicadas em vários tipos de substratos de natureza mineral, os quais têm aspectos em comum como são a alcalinidade, a porosidade ou a necessidade de respiração. As principais funções das tintas para fachadas passam pela necessidade de protecção dos substratos e de

proporcionar determinado sentido estético, sendo que estas propriedades deverão manter-se o máximo de tempo possível.

Para cumprir as exigências funcionais, numa época em que a durabilidade começa a ser entendida como determinante na construção, os revestimentos por pintura devem apresentar um conjunto de propriedades que interessa avaliar, unanimemente referidas por diversos autores.

2.4.3.1 Impermeabilidade à água

A impermeabilidade é uma das exigências dos revestimentos de paredes, de forma a impedir a passagem de água com origem exterior, para o interior do edifício. Esta pode ter origem na água da chuva ou do terreno, entre outras. O revestimento por pintura deverá impedir ou reduzir substancialmente a absorção de água através da superfície exposta.

Este aspecto reveste-se da maior importância para a caracterização do comportamento do revestimento, nomeadamente no que se refere à durabilidade, estanqueidade, degradação do aspecto e desempenho térmico dos elementos da construção [Oliveira, 1996].

As Normas Portuguesas, actualmente em vigor, referentes à impermeabilidade e resistência à humidade de tintas são a NP ISO 11503 [1999], a NP EN ISO 6270-1 [2007], a NP EN ISO 6270-2 [2007] e a NP EN ISO 2812-2 [2009].

Existem diversos estudos onde são avaliadas e comparadas, em diversos revestimentos por pintura, a permeabilidade ao vapor de água (PVA) e a permeabilidade à água líquida (PAL). Os resultados podem ser consultados na bibliografia de Moreira [2006], Oliveira [1996], Rodrigues [1998], Tavares [2002], Goossens et al. [2004], Moreira [2006], Amaro [2008], Giacardi e Morra [2008] e Brito [2009].

2.4.3.2 Flexibilidade, elasticidade e dureza

A flexibilidade, elasticidade e dureza são particularmente importantes nos revestimentos sujeitos a grandes variações térmicas ou caso o suporte tenha tendência ou se apresente fissurado.

As variações dimensionais do suporte podem não ser acompanhadas pelo revestimento se este for demasiado duro, originando fissuração e destacamento. Tendencialmente, estes revestimentos tornam-se frágeis e quebradiços, sendo particularmente sensíveis às variações térmicas e do suporte. A perda de elasticidade ao longo do tempo, por degradação do ligante, faz parte do processo de envelhecimento natural dos revestimentos por pintura.

Das propriedades referidas, distingue-se elasticidade de flexibilidade. A flexibilidade não exige o retorno às condições iniciais do material, ao contrário da elasticidade. A elasticidade numa pintura está ligada directamente ao seu comportamento e à sua durabilidade. Para que uma película de tinta possa absorver tensões, é necessário, assim, ser dotada de elasticidade suficiente para o fazer [Cunha, 2009, citando Fazenda, 2005].

Os métodos para a determinação da dureza da película e da sua flexibilidade podem ser consultados nas Normas Portuguesas NP ISO 15184 [2003], NP EN ISO 1518 [2006] e NP EN ISO 1519 [2009].

Um estudo sobre tintas para rebocos de cimento fissurados em rebocos exteriores conclui que as correntes tintas plásticas têm menor elasticidade, não sendo susceptíveis de serem usadas em rebocos fissurados. Os resultados obtidos podem ser consultados em Cunha [2009].

2.4.3.3 Compatibilidade e aderência ao suporte

A grande diversidade de superfícies a pintar exige um bom conhecimento das características físicas e químicas dos materiais e produtos a utilizar, procurando evitar a incompatibilidade entre eles, para se alcançar um bom desempenho do revestimento final. No entanto, frequentemente, estas incompatibilidades não são tidas em consideração o que, juntamente com condições ambientais adversas, dá origem ao aparecimento de anomalias [Moura, 2009]. Assim, um sistema de pintura tem de garantir a compatibilidade com a base de aplicação, permitindo prevenir ou minimizar a degradação do revestimento.

Um dos aspectos importantes na compatibilidade é a resistência e estabilidade do revestimento à alcalinidade, devido às aplicações sobre rebocos de cimento. A alcalinidade do substrato ataca alguns tipos de ligantes que constituem o revestimento, degradando-os. Uma fraca resistência à alcalinidade pode comprometer seriamente o tempo de vida do revestimento, provocando pulverulência, saponificação, fissuração e perda de adesão [Amaro, 2007]. Geralmente, os revestimentos de resinas acrílicas são muito resistentes aos alcális.

A aderência ao suporte depende da existência de forças de atracção entre moléculas [Lopes, 2008], um fenómeno que se considera fora do âmbito deste trabalho. As superfícies rugosas favorecem a adesão mecânica da película ao suporte, podendo-se recorrer a primários promotores da aderência. A Norma Internacional ASTM D4541 [2009] permite avaliar a aderência de um revestimento.

2.4.3.4 Resistência às acções externas

Os agentes de degradação externos, cuja acção sobre o revestimento inicia processos de degradação, são diversos. A sua acção combinada é responsável pela ruptura das ligações entre as moléculas de polímero e reorganização da estrutura, provocando a degradação do revestimento [Lopes, 2009].

Desta forma, os revestimentos têm de apresentar resistência aos agentes de degradação exteriores, nomeadamente [Veiga e Tavares, 2002]:

- aos raios ultravioleta - o revestimento deve possuir uma cor estável quando exposta ao sol;

- aos ácidos ambientais - a gasolina e os combustíveis em geral produzem gases sulfurosos que se transformam em ácidos em contacto com a água e podem atacar quimicamente a tinta;

- às variações climáticas - as tintas devem manter-se inalteradas, do ponto de vista químico, da cor e da aderência ao suporte, durante vários anos de exposição às variações climáticas normais em cada região;

- aos fungos, algas e microrganismos - as tintas devem ter alguma resistência à fixação e desenvolvimento de fungos e outros microrganismos.

Existem diversos estudos [Eusébio, 1985b], [Mallon et al., 2002], [Tavares, 2002], [Giacardi e Morra, 2008] referentes ao envelhecimento natural e artificial dos revestimentos por pintura. Contudo, a relação entre eles é ainda pouco conhecida. Não se sabe ainda a quantas horas de exposição real corresponde uma hora de exposição artificial. Desta forma, os testes de envelhecimento acelerado são fundamentalmente realizados para efeitos comparativos entre revestimentos, sendo muito úteis para prever a vida útil em revestimentos formulados com novos produtos de pintura [Wood, 2001].

As Normas Portuguesas, actualmente em vigor, para a avaliação do envelhecimento natural e acelerado são a NP EN ISO 2810 [2007] e a NP EN ISO 11341 [2009], respectivamente.

2.4.3.5 Aspecto decorativo pretendido

O aspecto que se pretende é obtido por uma combinação de características como o poder de cobertura, textura, cor e brilho do revestimento.

Como referido, o poder de cobertura e o brilho são função da concentração de pigmentos, aliada à sua dimensão e forma. O método de determinação do poder de cobertura pode ser consultado na Norma Portuguesa NP 4407 [2001]. Quanto ao brilho, pode ser avaliado por comparação com padrões de referência, por medição ou por classificação, nomeadamente mate, acetinado e brilhante.

Um ponto importante e polémico, que deve ser estudado com todo o rigor científico, é a escolha da cor [Aguiar, 1999]. A cor do edifício é de grande importância para a definição do seu valor enquanto património e para a autenticidade da sua imagem histórica e urbana. A manutenção da cor original permite preservar a riqueza cromática e técnica existente em cada região. O recurso a técnicas actuais de análise estratigráfica permite estudar as cores das várias camadas de pintura que o edifício teve ao longo do tempo e fazer uma opção bem fundamentada [Veiga e Tavares, 2002].

A análise comparativa ou quantitativa da cor exige sistemas de representação e classificação, sendo muito utilizado em construção civil o sistema sueco NCS. Também existe uma Norma Portuguesa para comparação visual da cor de revestimentos por pintura [NP EN ISO 3668, 2006].

2.4.4 Factores que afectam a durabilidade

O comportamento em serviço de um revestimento por pintura depende de um conjunto de parâmetros, bastando que um deles seja deficiente para pôr em risco o bom desempenho do revestimento [Rodrigues e

Eusébio, 2005a]. Os factores que afectam a durabilidade são os seguintes [Teo et al., 2005], [Eusébio, 2007]:

- qualidade e compatibilidade dos produtos a aplicar;
- adequada selecção do tipo de tinta;
- tipo e natureza da preparação das superfícies a pintar;
- técnica de aplicação;
- condições ambientais ou atmosféricas.

2.4.5 Selecção do revestimento

A selecção de um sistema de pintura implica a consideração de vários factores, entre os quais [Eusébio, 1985a], [Eusébio, 2007]:

- finalidade do uso do revestimento ou requisitos funcionais - fins decorativos, de protecção ou de conferir propriedades especiais, como resistência aos fungos e algas;

- tipo de base de aplicação - a natureza e as características físicas e químicas desta podem influenciar a escolha do tipo de tinta, como argamassas de cal em edifícios antigos;

- tipo de revestimento pré-existente em casos de repintura;

- tipo de ambiente - rural, marítimo, industrial ou com condições variáveis, por exemplo com exposição a fumos ou a diferenças elevadas de temperatura;

- tipo de preparação de superfície - condicionada pelo ambiente a que vai estar sujeita e também pelo tipo de revestimento que se vai utilizar;

- restrições especiais de selecção - condições de substrato, por exemplo se tiver um alto teor de humidade;

- aspectos económicos - deve ter-se em conta o custo global, nomeadamente o custo inicial, os custos de aplicação e preparação da superfície e os custos de manutenção;

- exigências de durabilidade - vida útil do revestimento, muitas vezes mencionada no caderno de encargos.

Consoante a situação, deve assim avaliar-se qualitativamente a importância de cada factor e realizar-se uma apreciação global.

A disponibilidade de uma enorme variedade de produtos leva, muitas vezes, a que existam vários esquemas de pintura susceptíveis de serem usados; a sua selecção faz-se, geralmente, com base no custo

relativo [Eusébio, 1985a]. Contudo, este critério tem de ter em conta que custos iniciais baixos podem traduzir-se em menor durabilidade e em custos de manutenção mais elevados, podendo culminar numa solução com um custo global mais elevado.

2.5 Identificação e descrição de anomalias em revestimentos por pintura

Os revestimentos de paredes, pela sua grande exposição às acções externas e pelo seu papel de protecção das alvenarias, são dos elementos mais sujeitos à degradação (Figura 2.17). Os processos de degradação, natural e precoce, a que estão sujeitos os revestimentos traduzem-se no aparecimento de diversas anomalias que, devidamente identificadas e tipificadas, permitem quantificar a degradação. As principais anomalias em paredes exteriores são apresentadas na Tabela 2.4.

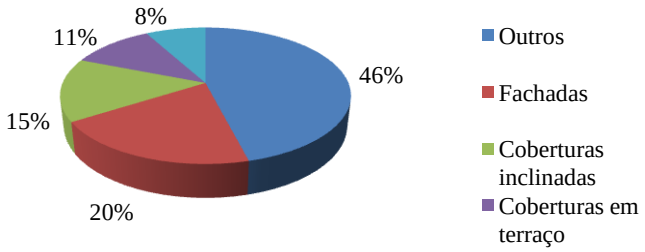


Figura 2.17 - Percentagem de anomalias por elemento em que ocorrem [adaptado de Freitas e Sousa, 2003]

Tabela 2.4 - Principais anomalias em paredes exteriores [Eusébio, 2007]

Principais anomalias em paredes exteriores
Alteração de cor e brilho
Destacamento
Pulverulência
Empolamento
Manchas
Eflorescências
Crescimento de fungos e de algas

Neste trabalho, considera-se uma anomalia como uma manifestação patológica do mecanismo de degradação que lhe está associada, sendo assim um processo evolutivo ao longo do tempo. De acordo com Silva [2009], entende-se por mecanismo de degradação a sequência de alterações a que o revestimento está sujeito, que originam uma alteração prejudicial nas suas características físicas, químicas ou mecânicas. Desta forma, anomalias do tipo graffiti não são consideradas no âmbito da modelação do comportamento dos revestimentos por pintura ao longo da sua vida útil.

2.5.1 Perda de continuidade

A existência de anomalias do tipo fissuração ou irregularidades particulares confere ao revestimento um aspecto de perda de continuidade na zona afectada.

2.5.1.1 Fissuração

A fissuração (Figura 2.18) caracteriza-se por aberturas de pequena dimensão, podendo estas ser superficiais ou em toda a espessura do revestimento por pintura, sendo geralmente designadas - no segundo caso - por fendilhamento. A fissuração pode ocorrer com ou sem direcção preferencial.

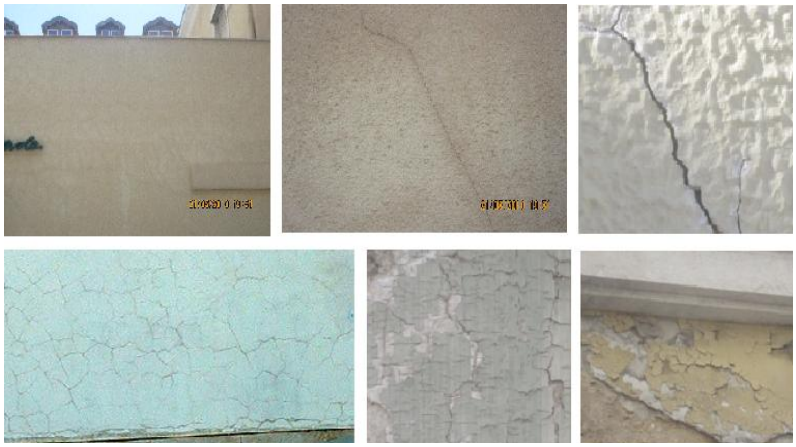


Figura 2.18 - Anomalias do tipo fissuração

Consoante o grau de abertura, a profundidade e a tipologia das fissuras, estas apresentam as seguintes variantes: microfissuração (*checking*) caracterizada por fissuras superficiais finas distribuídas de forma mais ou menos regular; fissuração em profundidade (*mud cracking*) caracterizada por fissuras profundas, característica de revestimentos de camada espessa; fissuração tipo patas de galinha (*crow's foot cracking*) caracterizadas por fissuras à superfície da película na forma de linhas que partem de um ponto central; e fissuras do tipo pele de crocodilo (*alligatoring*), caracterizada por fissuras superficiais em forma de polígonos regulares [Rodrigues et al., 2005].

As fissuras surgem por causas diversas, podendo ter origem no próprio reboco ou na formulação da tinta, entre outras possibilidades (Tabela 2.5). Embora estas fissuras pareçam por vezes inofensivas, contribuem para a diminuição da durabilidade da construção pois permitem a entrada de ar e de água [Gaspar et al., 2007], originando uma degradação acelerada das paredes.

Tabela 2.5 - Causas prováveis de anomalias do tipo fissuração [Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Preparação inadequada
Produto de pintura	Formulação inadequada
Aplicação da tinta	Tempo insuficiente entre aplicações; espessura elevada da película
Condições de exposição	Ambientes quimicamente agressivos, em conjunto com a radiação solar e a temperatura (perda de elasticidade)
Outros	Movimentos da base de aplicação (retracção do reboco); envelhecimento natural (perda de elasticidade ao longo do tempo)

A fissuração condiciona assim a capacidade de impermeabilização do revestimento, afecta o conforto termo higrométrico, a estética e a durabilidade dos paramentos [Estrela et al., 2009]. As fissuras

consideradas neste trabalho englobam aquelas que ocorrem exclusivamente nos revestimentos (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Fissuras não consideradas neste trabalho [adaptado de Cunha, 2009]

Fissuras não consideradas em revestimentos por pintura	Causas
Fissuras devidas à constituição do reboco	Retracção do reboco
	Acção do gelo-degelo
	Dilatações e contracções higrotérmicas
	Deficiente dosagem na execução da argamassa
	Espessura inadequada
Fissuras devidas ao suporte do reboco	Deslocamentos da estrutura
	Reacções com sais existentes no suporte
	Absorção excessiva do suporte
Fissuras devido a outras situações	Concentração de tensões junto a pontos singulares
	Corrosão de elementos metálicos

2.5.1.2 Irregularidades particulares

As irregularidades particulares consideradas neste trabalho consistem em bicos de alfinete e crateras. Apesar de serem anomalias não modeláveis - visto que surgem na fase de secagem e formação do filme - e pouco comuns em revestimentos exteriores, interessa a sua breve descrição visto que afectam o aspecto estético do revestimento e, no caso dos bicos de alfinete, favorecem a entrada de água e de agentes contaminantes. Os bicos de alfinete consistem em pequenos orifícios, na superfície de uma película de tinta, com a dimensão de uma picada de alfinete; as crateras caracterizam-se por pequenas depressões de forma circular na película (Figura 2.19). As causas prováveis destas anomalias são descritas na Tabela 2.7.

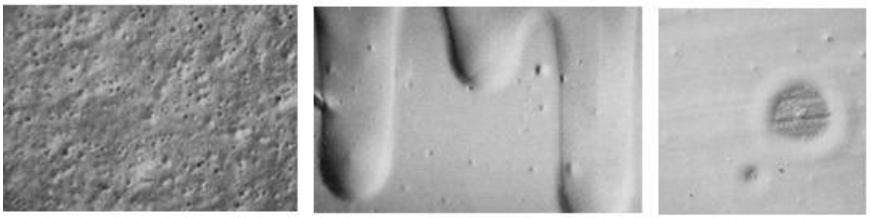


Figura 2.19 - Anomalia do tipo bicos de alfinete (×100), escorridos e crateras (da esquerda para a direita) [adaptado de Mateus, 2004]

2.5.1.3 Manchas de humidade

Apesar de, directa ou indirectamente, a maior parte das manchas decorrer da presença de humidade, as manchas aqui consideradas são aquelas que estão directamente relacionadas com a presença de água [Gaspar, 2009].

Tabela 2.7 - Causas prováveis de anomalias do tipo irregularidades particulares [adaptado de Rodrigues e Eusébio, 2003a; Rodrigues e Eusébio, 2005b e Lopes, 2008]

Bicos de alfinete	
Origem	**Causas prováveis**
Base de aplicação	Humidade excessiva
Produto de pintura	Formulação inadequada; diluição excessiva
Aplicação da tinta	Desrespeito do tempo de aplicação entre demãos; introdução de ar no interior do produto
Condições de aplicação	Temperaturas baixas
Crateras	
Origem	**Causas prováveis**
Base de aplicação	Presença de partículas contaminantes
Produto de pintura	Viscosidade excessiva
Condições de exposição	Ambientes contaminados ou com poeiras

As manchas de humidade podem ter origem em diversos fenómenos, nomeadamente:

- manchas devido à humidade presente no terreno que ascende por capilaridade, atingindo sobretudo o soco da fachada sempre que não exista uma barreira impermeabilizante;

- manchas devidas à incidência da chuva que pode ser absorvida e penetrar no suporte caso o revestimento por pintura não seja suficientemente impermeável;

- manchas com origem em condensações (mais aplicável a interiores), decorrentes da libertação de vapor de água gerado no interior dos edifícios ou da água presente nos materiais, caso o revestimento não seja suficientemente permeável ao vapor de água;

- manchas em revestimentos fissurados, que favorecem a absorção e a penetração da água que incide no revestimento.

As manchas de humidade (Figura 2.20) acabam por favorecer outras anomalias. Estão geralmente associadas a uma maior retenção de sujidade, ao desenvolvimento de fungos, algas e outros microrganismos e ao aparecimento de eflorescências, por migração dos sais existentes no interior das paredes. Não só constituem um problema estético como tendem a expandir-se ao longo do tempo, sendo que a sua permanência prolongada pode dar origem a anomalias mais graves, como é o caso de empolamentos e, posteriormente, destacamentos [Cin, 2010a].

Figura 2.20 - Anomalias do tipo manchas de humidade

2.5.1.4 Manchas de origem biológica

As manchas resultantes de colonização biológica (Figura 2.21) podem ser originadas por algas, fungos, musgos, líquenes ou vegetação parasitária, isto é, microrganismos de origem animal ou vegetal. Estes microrganismos formam uma camada de cor preta, verde ou encarnada que afecta não só a qualidade visual das fachadas, mas também deteriora gradualmente os revestimentos e o próprio suporte.

Figura 2.21 - Anomalias do tipo manchas de origem biológica

A manifestação desta anomalia implica um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos, designadamente ambientes húmidos. Os microrganismos de origem animal, como os fungos, crescem em ambientes sombrios e com pouco arejamento, em presença de material orgânico. Os de origem vegetal, como as algas, desenvolvem-se em ambientes quentes e com exposição solar, em presença de dióxido de carbono [Rodrigues e Eusébio, 2005b]. Muitas vezes, as algas são posteriormente arrastadas pela água da chuva e dispersas ao longo da fachada segundo um padrão vertical [Büchli, 2003].

A contaminação por excrementos de animais (sobretudo aves) é considerada uma situação particular da degradação de origem biológica, embora não assuma um papel tão importante em revestimentos por pintura, comparativamente à pedra natural (onde os ácidos contidos nos dejectos das aves atacam o material).

As causas prováveis deste tipo de anomalia encontram-se na Tabela 2.8. De acordo com Lopes [2008], o desempenho estético é afectado, em maior escala, em revestimentos claros. Esta anomalia tem maior incidência em superfícies rugosas, nomeadamente em revestimentos texturados, onde a fixação de partículas, poeiras ou microorganismos é favorecida [Gaspar, 2009].

Tabela 2.8 - Causas prováveis de anomalias do tipo manchas de colonização biológica [adaptado de Rodrigues e Eusébio 2003a; Rodrigues e Eusébio, 2005b e Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Presença de humidade ou sais solúveis; preparação inadequada ou incorrecta (remoção ineficaz de anteriores contaminações)
Produto de pintura	Formulação inadequada (percentagem reduzida de fungicidas)
Condições de exposição	Humidade e temperatura elevadas; ventilação e luminosidade insuficientes

2.5.1.5 Alterações de cor e brilho

Uma alteração cromática (Figura 2.22) é uma mutação da cor original, podendo consistir em descolorações e perda de saturação das cores, amarelecimento ou alterações de brilho - perda de brilho ou embaciamento Estas alterações, caso ocorram em zonas diferenciais da fachada, têm o aspecto de manchas, com aspecto de descolorações ou colorações [Flores e Brito, 2003a], sobretudo em rebocos com porosidade variável ou com tintas formuladas com elevada concentração de pigmentos. Um estudo mais aprofundado sobre anomalias da cor em fachadas pintadas pode ser consultado na bibliografia de Lopes [2008].

Figura 2.22 - Anomalias do tipo alterações de cor e brilho em revestimentos por pintura

As alterações de cor e brilho nos revestimentos contribuem para a percepção da degradação da fachada, sendo essencialmente uma anomalia estética que faz parte do envelhecimento natural. São geralmente devidas à acção dos agentes de exposição, designadamente a radiação solar, o ar e a humidade, apresentando-se na Tabela 2.9, mais detalhadamente, as causas que podem explicar a sua origem.

Tabela 2.9 - Causas prováveis de anomalias do tipo alterações de cor e brilho

Descolorações e perda de saturação das cores	
Origem	**Causas prováveis**
Base de aplicação	Alcalinidade do suporte
Produto de pintura	Formulação inadequada (pigmentos não adequados para o exterior)
Condições de exposição	Radiação solar excessiva; ambientes poluídos ou quimicamente agressivos
Outros	Envelhecimento natural do revestimento pela acção da radiação ultravioleta, ar e humidade
Amarelecimento	
Origem	**Causas prováveis**
Base de aplicação	Formulação inadequada (utilização inadequada de secantes)
Aplicação	Espessura elevada
Condições de exposição	Humidade elevada; ventilação insuficiente; contaminação do meio ambiente (amoníaco, compostos orgânicos, fumos)

Tabela 2.10 - Causas prováveis de anomalias do tipo alterações de cor e brilho (continuação)

Outros	Envelhecimento natural do revestimento
Perda de brilho	
Origem	**Causas prováveis**
Base de aplicação	Heterogeneidade do suporte (zonas com absorções diferentes); preparação inadequada
Produto de pintura	Formulação inadequada (utilização de solventes inadequados ou falta de resistência do ligante); viscosidade elevada ou diluição excessiva
Condições de aplicação	Correntes de ar, responsáveis pelo transporte de agentes contaminantes
Aplicação	Espessura inadequada; tempo insuficiente entre demãos
Condições de exposição	Ambientes poluídos
Outros	Envelhecimento do revestimento; deposição de sujidade na superfície

2.5.1.6 Retenção de sujidade

A retenção de sujidade ou depósito superficial (Figura 2.23) pode ser uniforme, através da deposição na fachada de partículas em suspensão na atmosfera, ou diferencial, geralmente associada a processos de arrastamento de partículas ou de lavagem de partes da fachada por acção da água da chuva [Gaspar, 2008, citando Kadlubowski e Bynum, 2001]. A deposição de sujidade pode dar origem a um escurecimento do revestimento, sendo este tanto mais intenso quanto mais recentes forem as películas.

Figura 2.23 - Anomalias do tipo retenção de sujidade em revestimentos por pintura

Os poluentes existentes na atmosfera, como o dióxido de enxofre ou os óxidos de azoto, transportados pelo vento ou dissolvidos na água da chuva, acumulam-se nas superfícies, podendo ser absorvidos pelos revestimentos. A captação de sujidade está relacionada com as características do produto, com a velocidade de secagem e com a dureza do revestimento [Lopes, 2008]; a sua retenção está ligada às características do revestimento e às suas condições de exposição.

Naturalmente que, em zonas menos expostas à chuva e com acabamentos rugosos, há maior tendência para este tipo de anomalia, embora a sujidade neste tipo de revestimento seja mais dissimulada [Cin, 2010c]. Contudo, situações prolongadas e repetidas de escorrimento de água pelas fachadas podem conduzir ao aparecimento de manchas de colonização biológica ou iniciar um processo de degradação mais profundo. As causas prováveis da retenção de sujidade em fachadas pintadas são apresentadas na Tabela 2.10.

Tabela 2.11 - Causas prováveis de anomalias do tipo retenção de sujidade [adaptado de Lopes, 2008 e Gaspar, 2009]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Características da superfície (rugosidade e volumetria)
Produto de pintura	Formulação inadequada (concentração volumétrica de pigmentos elevada, utilização de ligantes que conferem pegajosidade)
Condições de aplicação	Humidade elevada (maior tempo de secagem)
Condições de exposição	Ambientes com níveis de poluição elevados
Erros de projecto do edifício	Ausência de capeamentos de muretes e de platibandas; deficiente escoamento de águas de varandas e terraços; ausência ou deficiente execução de juntas de dilatação

2.5.1.7 Eflorescências

As eflorescências (Figura 2.24) caracterizam-se por depósitos cristalinos sobre o revestimento, de fraca coesão e pulverulentos ou sob a forma de depósitos compactos e de aspecto vítreo, resultantes da exsudação de sais minerais solúveis em água. Visualmente, esta anomalia manifesta-se através do aparecimentos de manchas de extensão e configuração variáveis e geralmente de cor esbranquiçada [Gaspar, 2009], que afloram a superfície, alterando o aspecto visual do revestimento . Quando este fenómeno ocorre sob a superfície (entre o reboco e o revestimento) é designado por criptoflorescência, favorecendo o destacamento da película.

Figura 2.24 - Anomalias do tipo eflorescências em revestimentos por pintura

As eflorescências resultam da migração de água, contida nos elementos da construção, transportando consigo sais dissolvidos (cloretos, sulfatos, nitratos ou outros) com origem nestes elementos, no solo ou no ambiente. À medida que a água atravessa a construção, do interior para o exterior, e consoante as condições ambientais, dá-se a sua evaporação e a cristalização dos sais que transporta [Gonçalves, 2002]. As causas prováveis deste tipo de anomalia encontram-se na Tabela 2.11.

Tabela 2.12 - Causas prováveis de anomalias do tipo eflorescências [adaptado de Magalhães, 2002 e Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Presença de humidade em excesso e de sais solúveis; presença de cal não carbonatada
Outros	Realização de acções de limpeza com produtos alcalinos sobre películas permeáveis

Embora Magalhães [2002] afirme que esta anomalia é apenas um problema superficial e essencialmente estético, que não afecta verdadeiramente a durabilidade dos materiais, Gonçalves [2002] defende que a deterioração vai progredindo para o interior, com o desaparecimento das camadas superficiais, sublinhando os elevados custos associados à reparação destas anomalias, assim como a diminuição progressiva das condições de habitabilidade.

2.5.1.8 *Graffiti*

As anomalias do tipo manchas provocadas pela acção humana, de origem acidental ou por vandalismo, afectam o aspecto estético ou a qualidade visual dos revestimentos. Como referido, este tipo de anomalia não é modelável, isto é, não é evolutivo, nem faz parte de um processo de degradação natural dos revestimentos. A sua ocorrência dá-se de forma mais ou menos aleatória, havendo evidentemente factores que favorecem a sua ocorrência: Gaspar [2009] refere a proximidade da via pública como um factor de risco.

A título de exemplo, referem-se os *graffiti*, que consistem na pintura (sobre os revestimentos) de tintas em *spray* (Figura 2.25). Este tipo de anomalia, devido a acções de vandalismo e muito comum em paredes exteriores, deteriora o aspecto visual das fachadas, sendo que a sua remoção nem sempre é fácil. Actualmente, existe um esforço crescente para desenvolver produtos de pintura que dêem origem a películas *anti-graffiti* ou auto-limpantes, no sentido de dificultar a aderência dos *graffiti* aos revestimentos por pintura.

Figura 2.25 - Anomalia do tipo *graffiti* em revestimentos por pintura

2.5.2 Perda de coesão dos constituintes: pulverulência

A perda de coesão do revestimento, geralmente designada de pulverulência ou gizamento (Figura 2.26), consiste no aparecimento de uma pó fino, pouco aderente à superfície da película, proveniente da desagregação de um ou vários dos seus constituintes (por degradação do ligante) [Barbot, 2005], [Rodrigues et al., 2005]. A pulverulência provoca o desgaste, desprendimento e perda de material. Esta anomalia faz parte do processo de envelhecimento dos revestimentos, provocada pela acção da radiação ultravioleta e do oxigénio.

Figura 2.26 - Anomalias do tipo pulverulência em revestimentos por pintura [Cin, 2010a; Mateus, 2004]

A perda de coesão surge geralmente após a perda de brilho e, quando excessiva, origina a formação de um líquido leitoso que diminui a durabilidade do revestimento [Lopes, 2008]. Quando moderada, a pulverulência provoca uma diminuição da espessura do revestimento, podendo mesmo o reboco ficar à vista e afectando assim o aspecto estético da fachada. As causas possíveis deste tipo de anomalia encontram-se na Tabela 2.12.

Tabela 2.13 - Causas prováveis de anomalias do tipo pulverulência [adaptado de Paiva et al., 2006 e Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Preparação inadequada (limpeza da superfície com produtos alcalinos)
Produto de pintura	Formulação inadequada (falta de ligante)
Aplicação	Espessura insuficiente
Condições de exposição	Acção dos agentes atmosféricos (radiação ultravioleta)
Outros	Envelhecimento do revestimento

De acordo com Lopes [2008, citando Hess, 1988], os revestimentos de cor branca que apresentam pulverulência mantêm a cor durante mais tempo (acção da auto-limpeza) mas perdem o brilho progressivamente, enquanto que os revestimentos coloridos podem apresentar alguma descoloração, devido à lavagem dos pigmentos (Figura 2.26).

2.5.3 Perda de aderência

A perda de aderência entre o revestimento e a base pode ser do tipo empolamento ou destacamento.

2.5.3.1 Empolamento

O empolamento (Figura 2.27) consiste numa deformação convexa no revestimento (para o exterior), a partir de uma perda de aderência localizada de uma ou mais camadas que constituem o revestimento [Rodrigues et al., 2005]. Apresenta-se sob a forma de bolhas, devido à retenção de ar, humidade ou solvente do produto de pintura. Como referido, as membranas elásticas ou, de uma forma geral, os revestimentos com baixa permeabilidade ao vapor de água e elevada impermeabilidade à água têm maior tendência para empolamento, pois criam uma barreira à saída da humidade, provocando a permanência prolongada desta.

Figura 2.27 - Anomalias do tipo empolamento em revestimentos por pintura

Embora, isoladamente, os empolamentos sejam essencialmente anomalias estéticas, tendem a expandir-se ao longo do tempo, dando origem a destacamentos. As causas associadas a este tipo de anomalia encontram-se na Tabela 2.13.

Tabela 2.14 - Causas prováveis de anomalias do tipo empolamento [adaptado de Barbot, 2005; Rodrigues, 2005 e Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Preparação inadequada (existência de sujidade, humidade no suporte, contaminações salinas); porosidade elevada
Produto de pintura	Formulação inadequada (incompatibilidade química com a base)
Condições de aplicação	Humidade elevada; temperaturas elevadas ou correntes de ar (secagem demasiado rápida)
Aplicação	Tempo insuficiente ou muito prolongado entre demãos; espessura inadequada
Condições de exposição	Humidade excessiva
Outros	Envelhecimento natural; acções de limpeza com produtos alcalinos (remoção de eflorescências ou sujidade) sobre películas permeáveis; movimentos da base de aplicação;
Erros de projecto do edifício	Deficiente drenagem de águas pluviais; Incorrecta impermeabilização do edifício.

2.5.3.2 Destacamento

O destacamento (Figura 2.28) consiste na perda total ou parcial da aderência do revestimento ou de uma das suas camadas, provocando descontinuidades na superfície (como um todo) por falta de material. O descolamento pode-se dar em lâminas (delaminação) ou em tiras (esfoliação).

O destacamento, além do aspecto inestético, dita o fim da protecção conferida pelo revestimento ao suporte e às paredes dos edifícios, favorecendo a entrada da água e dos contaminantes atmosféricos e originando, assim, a degradação destes. Desta forma, representa o fim da vida útil do revestimento, que deixa de cumprir a sua função, tanto decorativa, como de protecção.

Figura 2.28 - Anomalias do tipo destacamento em revestimentos por pintura

Esta anomalia pode ter origem em eflorescências ou empolamentos, resultando muitas vezes de uma combinação de anomalias e de agentes de degradação, por vezes complexa. Mateus [2004] e Lopes [2008] acrescentam que, em revestimentos fissurados por variações dimensionais entre o suporte e a película, existe maior tendência para o destacamento, pois estes favorecem a entrada de água. Além da referida, outras causas podem estar na origem deste tipo de anomalia (Tabela 2.14).

Tabela 2.15 - Causas prováveis de anomalias do tipo destacamento [adaptado de Barbot, 2005; Rodrigues, 2005 e Lopes, 2008]

Origem	Causas prováveis
Base de aplicação	Preparação inadequada (existência de sujidade, substratos pulverulentos, humidade no suporte, ausência de primário, presença de eflorescências)
Produto de pintura	Formulação inadequada (incompatibilidade física e química com a base, baixa resistência à alcalinidade); baixa permeabilidade ao vapor de água
Condições de aplicação	Humidade elevada; temperaturas elevadas (exposição solar)
Aplicação	Tempo de secagem insuficiente (aplicação de uma camada sem que a anterior esteja seca)
Condições de exposição	Humidade excessiva
Outros	Acções de limpeza com produtos alcalinos sobre películas permeáveis;
Erros de projecto do edifício	Ver Tabela 3.13

2.6 Factores de degradação em revestimentos por pintura

O estudo do desempenho, do envelhecimento e da degradação passa pela identificação das anomalias e das suas causas. Esta relação nem sempre é linear, existindo complexidades de difícil quantificação. Os fenómenos de degradação resultam geralmente de causas combinadas e uma causa pode originar várias anomalias [Rodrigues e Eusébio, 2003b], [Rodrigues et al., 2005b]. De facto, os vários factores de

degradação não actuam de um modo isolado mas, pelo contrário, podem potenciar a acção individual de um ou alguns deles, agravando o efeito da degradação dos materiais [Rodrigues, 1998].

O conjunto de factores que desencadeia os fenómenos de degradação abordados já foi referido, interessando aqui a sua classificação e breve descrição, no âmbito da sistematização da informação referente a operações correntes de gestão e manutenção de edifícios (Tabela 2.15).

Tabela 2.16 - Principais factores de degradação em revestimentos por pintura [adaptado de Teo et al., 2005]

Principais factores de degradação
Condições ambientais
Composição do produto de pintura
Erros de execução
Características do edifício
Factores acidentais, causas fortuitas e vandalismo

2.6.1 Factores ambientais

Os factores ambientais considerados relevantes na degradação dos revestimentos são a água, a temperatura, a radiação solar e o vento. A degradação dos materiais depende do tempo de actuação, da intensidade e da frequência de cada um dos referidos factores.

2.6.1.1 Acção da água

Segundo Amaro [2007], a água é um dos principais factores de degradação dos revestimentos por pintura, o que está de acordo com os dados de Watt [1999] e Chew [2005], que atribuem à humidade 50% e 53%, respectivamente, das causas de anomalias em edifícios.

A humidade em paredes tem diversas origens. A água da chuva pode incidir directamente na fachada, sob a forma de salpicos ou de escorrimentos, actuando muitas vezes sob pressão com a influência do vento. A água existente no terreno ascende por capilaridade, através da porosidade do material e das diferenças de pressão existentes. A humidade da construção é proveniente dos próprios materiais, como é exemplo da água para a confecção de argamassas. A humidade de condensação ocorre quando a temperatura das fachadas é inferior à temperatura do ar.

De acordo com Oliveira [1996], esta presença de água nas paredes, na fase de secagem e formação da película ou durante a sua vida útil, favorece a agressividade química nos rebocos, que pode conduzir:

- ao retardamento no endurecimento da película;
- à diminuição da aderência da película;
- ao destaque do revestimento;
- à formação de manchas e eflorescências;
- ao empolamento da película de tinta se esta for pouco permeável ao vapor de água;
- a manchas de humidade;

- ao ataque do revestimento.

Desta forma, a água é um factor condicionante para o aparecimento de praticamente todas as anomalias descritas; para além de diminuir a aderência (empolamentos e destacamentos) e provocar manchas de humidade, a presença de água favorece o desenvolvimento de microrganismos (manchas de origem biológica) e transporta contaminantes atmosféricos ou sais solúveis (retenção de sujidade e eflorescências, respectivamente).

O efeito mais ou menos nocivo da água nos revestimentos depende naturalmente de características como a porosidade, o coeficiente de absorção e a permeabilidade, que estão na origem de uma maior ou menor absorção e permanência da água. Outro aspecto a ter em conta são os ciclos de molhagem / secagem que podem acelerar a degradação, pela extracção de alguns constituintes e pelas variações dimensionais geradas.

2.6.1.2 Acção da temperatura

A temperatura é um factor importante nos vários processos de degradação, ampliando o efeito da água, podendo favorecer a perda de continuidade e a perda de aderência do revestimento.

O sobreaquecimento da superfície depende sobretudo da cor dos pigmentos usados na formulação da tinta, sendo que acabamentos lisos e de cor clara são mais reflectores que as os de cor escura e rugosos [Rodrigues, 1998], [Teo et al., 2005]. As superfícies podem atingir temperaturas de 60 a 80˚ C, o que pode causar a migração de alguns constituintes, dando origem a microfissuração, pegajosidade superficial e, consequentemente, retenção de sujidade. Por outro lado, se existir humidade no revestimento, as baixas temperaturas podem conduzir a formação de gelo e provocar fissuração, pelo aumento de volume associado.

As variações de temperatura também contribuem para o desgaste dos revestimentos, podendo traduzir-se em variações dimensionais cíclicas das películas. Inicialmente reversíveis, as tensões geradas podem, ao fim de algum tempo, provocar um efeito de fadiga no material, que acaba por fissurar.

2.6.1.3 Acção da radiação solar

A acção continuada da radiação solar, e mais concretamente da radiação ultravioleta, pode provocar cisões nas ligações poliméricas.

De todos os agentes de degradação, a radiação é o factor que desempenha uma acção preponderante no veículo fixo, degradando o ligante e iniciando processos de degradação físicos e químicos no revestimento [Eusébio, 1985b]. Além das alterações de cor, a perda de brilho ou a fissuração, com o tempo, pode danificar totalmente a película, tornando-a quebradiça ou dando origem à perda de material (pulverulência). Alguns revestimentos podem ainda ser amolecidos pela acção do sol, o que contribui para uma maior captação da sujidade, promovendo o desenvolvimento de fungos.

A radiação ultravioleta actua também sobre os pigmentos, dependendo da capacidade e absorção destes, provocando a sua degradação fotoquímica e dando origem a descolorações. É por esta razão que, em paredes exteriores, se deve usar pigmentos estáveis à luz.

2.6.1.4 Acção do vento

O vento, além da acção física que pode gerar tensões nos revestimentos, transporta partículas sólidas em suspensão no ar, como contaminantes atmosféricos e poeiras, que se depositam nas fachadas. Estes depósitos superficiais podem originar fenómenos de erosão das camadas superficiais [Moura, 2008] e favorecem a retenção de humidade e de sujidade, assim como a fixação de bactérias, pela presença de elementos nutritivos [Eusébio, 1980].

A acção do vento associada a acção da chuva propicia ainda a molhagem e a secagem diferencial do revestimento.

2.6.2 Composição do produto de pintura

A composição do produto de pintura é evidentemente um factor condicionante na degradação (3.3.2 e 3.3.3). Tintas incorrecta ou inadequadamente formuladas vão sofrer uma degradação precoce, podendo não apresentar o aspecto estético pretendido (cor, textura do acabamento, brilho). Os seus constituintes e as respectivas concentrações afectam todas as propriedades do revestimento e, consequentemente, a qualidade, o aspecto e o comportamento dos mesmos.

Um adequado controlo de qualidade durante o fabrico, nomeadamente através de ensaios de avaliação das características físicas e químicas e de ensaios de comportamento [Eusébio e Rodrigues, 1990], é a melhor forma de evitar erros referentes à composição do produto de pintura. Desta forma, existem normas e especificações que estabelecem requisitos mínimos de desempenho. Os produtos de pintura devem, assim, ter fichas técnicas, certificados da empresa e do produto e relatórios que atestem a sua qualidade [Eusébio, 2008].

2.6.3 Erros de projecto e execução

Os erros de projectos, em revestimentos por pintura, podem estar contidos nas especificações que devem constar no caderno de encargos. Estas englobam, entre outros, o tipo de tinta aplicada, o número de demãos, a preparação da base e o método de aplicação (rolo, trincha, pistola).

A execução, fase de materialização física da intervenção, é um dos períodos mais críticos da vida de um edifício. É nesta fase que ocorrem muitos procedimentos e decisões que afectam de forma definitiva a construção e que podem estar na origem de inúmeras anomalias [Paiva et al., 2006].

Estes erros são diversos (Tabela 2.16) e representam uma percentagem significativa das causas de degradação de revestimentos por pintura. Especialistas consultados oralmente afirmam que mais de 80% das anomalias precoces detectadas em fachadas pintadas não tem origem na má qualidade dos produtos de

pintura, mas sobretudo na falta de adequabilidade da tinta à situação existente ou na incorrecta preparação do suporte.

Tabela 2.17 - Erros de projecto e execução em revestimentos por pintura [adaptado de Eusébio, 2007 e Eusébio, 2008]

Erros de projecto	
Inadequada selecção do tipo de produtos	Incompatibilidade dos produtos
	Produtos não adequados às condições de exposição
	Produtos não adequados ao tipo de suporte
Espessura inadequada	Espessura inadequada de cada camada
	Número inadequado de demãos
Erros de execução	
Incorrecta preparação da superfície	Existência de sujidade superficial, contaminantes ou materiais desagregados
	Humidade elevada do suporte
	Descontinuidades no suporte
Processo de aplicação deficiente	Aplicação irregular da tinta
	Falta de controlo do número de demãos aplicadas (devem ser distintas pela cor)
Condições de aplicação desfavoráveis	Humidade relativa elevada
	Temperatura demasiado elevada ou baixa
Tempo de secagem insuficiente	
Desrespeito pelas especificações do caderno de encargos	

2.6.4 Características gerais do edifício

As características dos edifícios, que interferem no comportamento dos revestimentos, são o tipo de envolvente, a orientação da fachada, a altura e a idade. São, assim, factores relevantes na selecção da amostra.

2.6.4.1 Tipo de envolvente

O tipo de envolvente (Tabela 2.17) do edifício afecta a durabilidade de um revestimento por pintura, nomeadamente consoante se encontra em zonas marítimas, urbanas, rurais ou industriais [Teo et al., 2005]. Por exemplo, os revestimentos que se degradam por pulverulência têm maior durabilidade em ambientes urbanos do que rurais. Isto explica-se pelo facto de a atmosfera poluída das zonas urbanas diminuir a intensidade da radiação ultravioleta e pelo facto de a fina camada de sujidade que se forma rapidamente sobre a película, a proteger da acção da radiação [Eusébio, 1980].

De facto, actualmente, os contaminantes atmosféricos são um agente que ataca consideravelmente as fachadas dos edifícios [Moura, 2006]. As pequenas partículas suspensas no ar fixam-se nas fachadas e, se estas estiverem húmidas ou amolecidas pela acção do sol, esse fenómeno é potenciado. A poluição atmosférica vai também originar as chuvas ácidas [Norvaisiene et al., 2006], que penetram nos suportes

devido à fraca qualidade dos revestimentos e contribuem para o seu envelhecimento e degradação (maior importância em betão armado).

Tabela 2.18 - Factores de degradação consoante o tipo de envolvente [adaptado de Eusébio, 1980 e Teo et al., 2005]

Tipo de envolvente	Factores de degradação
Industrial	Exposição ácida e alcalina
	Zonas de maior incidência de vento, próximas de instalações industriais, apresentam maior risco
	Gases e partículas emitidos podem desgastar e atacar seriamente o revestimento
Marítimo	Possibilidade de exposição aos cloretos por migração ou transporte pelo vento
	Zonas geralmente mais expostas a ventos fortes (fenómeno de erosão)
Rural	Geralmente maior níveis de humidade e de variações de humidade (boas condições para desenvolvimento de microrganismos)
	Maior intensidade de radiação ultravioleta (menos contaminantes atmosféricos)
Urbano	A presença de edifícios adjacentes pode provocar um maior tempo de secagem, quando a fachada se encontra húmida
	A permanência de humidade na fachada promove o desenvolvimento de fungos e algas

2.6.4.2 Orientação da fachada

Este factor tem influência no comportamento dos revestimentos, pela quantidade de radiação ultravioleta que incide nestes consoante a sua orientação.

Fachadas expostas a Sul (e com superfícies inclinadas) degradam-se mais facilmente pela quantidade de radiação ultravioleta que recebem, estando mais sujeitas a alterações de cor e a perdas de coesão (pulverulência).

Fachadas expostas a Norte, menos expostas à radiação ultravioleta, são mais frias e húmidas, promovendo o desenvolvimento de fungos e, consequentemente, o aparecimento de manchas de colonização biológica.

2.6.4.3 Altura do edifício

De acordo com Teo et al. [2005], os edifícios altos têm maiores riscos de degradação, pela sua exposição directa ao impacte da chuva e da radiação ultravioleta. Por outro lado, estão também mais sujeitos à acção do vento (a velocidade do vento aumenta em altura).

Outro factor a ter em conta são os custos de manutenção e reparação para edifícios altos, que são evidentemente mais elevados (andaimes).

2.6.4.4 Idade

A idade é outro dos factores importantes na degradação de um edifício. A tendência natural dos materiais é sofrer uma degradação ao longo do tempo, acompanhada de uma perda global das suas propriedades.

Desta forma, é relevante existir manutenção de edifícios. A falta / ausência desta ou as reparações inadequadas permitem que os revestimentos atinjam estados de degradação avançados, em que deixam de cumprir a sua função (cor e protecção).

2.6.5 Factores acidentais, causas fortuitas e vandalismo

Estes factores, de origem natural ou humana, são imprevisíveis. Importa assim avaliar o grau de risco ou de susceptibilidade das fachadas, tomando medidas preventivas de forma a minimizar as consequências da sua ocorrência. A identificação e descrição de alguns destes factores encontram-se na Tabela 2.18.

Tabela 2.19 - Factores acidentais, causas fortuitas e vandalismo

Causas de degradação	Descrição
Factores acidentais	Origem natural
	Sismo
	Tempestades
	Cheias
	Origem humana
	Explosões
	Fogo
	Inundação
	Choques
Causas fortuitas	Rotura de canalizações
	Entupimento de tubos de queda
	Deficiente sistema de drenagem
Vandalismo	Execução de *graffiti*
	Choques intencionais

A realização de manutenções periódicas e a adequada concepção de pormenores construtivos constituem procedimentos essenciais para a durabilidade dos revestimentos, garantindo a qualidade da construção na sua globalidade.

2.7 Conclusões

Este capítulo fornece as bases para a compreensão dos diferentes intervenientes no processo de degradação dos revestimentos. São de facto inúmeros os factores que contribuem para o seu comportamento em serviço e que afectam a sua durabilidade.

Desde a concepção da tinta, à sua aplicação, ao processo de secagem e às condições ambientais e de exposição, podem surgir anomalias pontuais ou processos de degradação irreversíveis, que não só afectam a qualidade estética e visual das fachadas, como põem fim à protecção conferida pelos revestimentos.

No âmbito da modelação de desempenho de pinturas de fachadas, destacam-se os seguintes mecanismos de degradação:

- fissuração;
- manchas de humidade;
- manchas de origem biológica;
- alterações de cor e brilho;
- retenção de sujidade;
- eflorescências;
- pulverulência;
- empolamentos;
- destacamentos.

Devida à falta de informação disponível, diversos factores de degradação, abordados ao longo deste capítulo, tiveram de ser excluídos da posterior análise de influência na durabilidade de revestimentos por pintura, sendo este assunto retomado com mais detalhe no capítulo seguinte.

No decorrer desta investigação, confirmou-se que a informação sistematizada, inserida em verdadeiras políticas de manutenção, é ainda escassa neste domínio. Contudo, já existe esta preocupação e diversos estudos têm investigado os vários passos e as diferentes áreas implicadas neste processo complexo, contribuindo, progressivamente, para uma melhoria da qualidade, com padrões de exigência cada vez mais elevados, decorrentes de uma preocupação crescente com a durabilidade dos materiais.

Capítulo 3

Descrição do trabalho de campo

3.1 Introdução

Neste capítulo, é apresentada a metodologia aplicada no trabalho de campo, descrevendo as suas diferentes etapas e apresentando os dados necessários para o desenvolvimento de um modelo de durabilidade de fachadas pintadas. Este passo é fundamental na previsão de vida útil, pois é dele que decorrem os resultados obtidos.

A metodologia desenvolvida e aplicada no presente trabalho insere-se no âmbito das operações correntes de manutenção de edifícios, tendo por objectivo a sua aplicação por técnicos não especializados no domínio da construção. Recolhas morosas e que requeiram técnicas de inspecção e diagnóstico pouco acessíveis não fazem parte dos objectivos desta investigação. Desta forma, foram adoptadas diversas medidas simplificativas, desenvolvidas no decorrer deste capítulo.

O trabalho de campo foi desenvolvido no contexto do parque edificado de Lisboa, em fachadas expostas a diversos agentes de degradação, independentemente da tipologia construtiva. Neste âmbito, foram analisados 160 edifícios correspondentes a 220 revestimentos, localizados em 6 concelhos do referido distrito, nomeadamente Lisboa, Cascais, Oeiras, Odivelas, Loures e Amadora.

3.1.1 Objectivos do trabalho de campo

Neste capítulo, pretende-se quantificar as variáveis a utilizar no modelo de previsão da vida útil, através do levantamento superficial do estado de conservação de revestimentos por pintura, no estado em que se encontram no momento da inspecção. Procede-se, assim, a uma análise estática dos casos estudados, decorrentes de exposição prolongada em condições de serviço.

Contrariamente a um levantamento exaustivo e detalhado de todas as anomalias, interessa fazer uma inspecção visual envolvendo apenas os mecanismos de degradação, isto é, a análise de anomalias que traduzam a evolução da degradação dos revestimentos, ficando excluídos fenómenos pontuais e acidentais, não modeláveis.

Este capítulo reúne assim a informação necessária à definição de um nível de degradação global de fachadas pintadas, para posterior inclusão em modelos de degradação (capítulo 4) e define os factores de degradação condicionantes considerados, com o objectivo de estudar a sua influência na durabilidade de fachadas pintadas.

O trabalho de campo, independentemente do rigor adoptado, apresenta algumas condicionantes, nomeadamente:

- a elevada insensibilidade a erros de concepção e execução, não detectáveis no levantamento de dados de campo, como é exemplo a inadequada selecção do tipo do produto e a incorrecta preparação da superfície, respectivamente.

- a dificuldade em obter informações referentes a alguns factores condicionantes na degradação, nomeadamente o esquema de pintura aplicado, designadamente o tipo de primário, a existência de subcapa e o ligante da tinta de acabamento;

- a dificuldade em obter informação relativa às datas de intervenção na fachada, nomeadamente reparações realizadas, tema desenvolvido mais à frente.

- a dificuldade em realizar medições exactas referentes a aspectos dimensionais da fachada e em aceder visualmente a zonas elevadas do revestimento;

- a subjectividade inerente ao inspector que faz a recolha de dados, que depende significativamente da sua prática e formação.

Por último, o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia de levantamento, registo e diagnóstico de anomalias em fachadas pintadas pretende colmatar a ausência de dados devida à escassez de informação disponível referente a anomalias existentes em fachadas pintadas, em condições reais de exposição. Desta forma, pretende-se também criar uma base de dados acessíveis e facilmente identificáveis, que poderão vir a ser fonte de campanhas visuais mais detalhadas e/ou complementados com estudos laboratoriais, ultrapassando algumas das referidas dificuldades.

3.1.2 Metodologia de investigação

Para implementação do trabalho de campo, foi necessário compreender os factores que influenciam a durabilidade dos revestimentos por pintura. Cada um destes factores foi decomposto em parâmetros, passíveis de serem identificados na campanha visual.

Posteriormente, foi desenvolvido um conjunto de inspecções visuais, para determinar o nível de degradação global das fachadas analisadas, em função das principais categorias de análise. Para determinar este parâmetro, optou-se pela metodologia adoptada por Gaspar [2002], Gaspar e Brito [2005], Shohet et al. [2002], Shohet et al. [2003] e Shohet e Paciuk [2004]. Esta metodologia é baseada numa avaliação visual sistemática da degradação de uma amostra significativa de fachadas com diferentes idades. Esta avaliação é realizada através do levantamento das anomalias existentes e da recolha de informação quantitativa ou qualitativa, referente a:

- aspectos dimensionais das fachadas inspeccionadas;

- áreas afectadas por cada anomalia considerada;
- nível de degradação associado a cada anomalia detectada;
- dados relativos aos factores de degradação de cada fachada, para posterior estudo da sua influência.

As inspecções visuais foram realizadas da forma mais rigorosa possível, sendo a informação registada na ficha de inspecção e procedendo-se a registos fotográficos das fachadas estudadas, das anomalias existentes e dos pormenores relevantes. A recolha fotográfica é, na maioria dos casos, complementada por esquissos à mão levantada (Figura 3.1), sobretudo nos casos em que a fotografia não se revela suficientemente perceptível, facilitando também a inserção de comentários relevantes.

Figura 3.1 - Registo fotográfico e representação esquemática (esquisso) da fachada, com indicação da localização das anomalias, da respectiva condição e a marcação de notas escritas complementares [Gaspar, 2009]

Relativamente ao levantamento dimensional das fachadas, existem diferentes técnicas ([Flores-Colen et al., 2005], [Paulo et al., 2008], [Gaspar, 2009], [Paulo, 2009], [Garrido, 2010], distinguindo-se pelo seu custo, morosidade e rigor. O caso concreto do trabalho de Garrido [2010] consiste no desenvolvimento de modelos de degradação, que traduzem a correlação entre a área destacada de revestimentos por pintura e a respectiva idade, em edifícios com construção anterior a 1940.

No estudo de Garrido [2010], foi utilizado um medidor de distâncias a *laser*, para medição das dimensões da fachada, e uma aplicação de tratamento de imagens que reconstitui uma fotografia da totalidade da fachada através de fotografias parciais da mesma, corrigindo também a distorção. Posteriormente, foi utilizada a plataforma *BuildingsLife*, e mais especificamente a ferramenta *Photo Measure*, para quantificação do destacamento de tintas em fachadas. A plataforma *BuildingsLife* constitui um sistema de gestão e apoio a decisão orientado para a gestão do património construído. Integra, entre outras, funções como armazenamento de dados, quantificação de anomalias, análise de dados e criação de leis e modelos de degradação. O estudo de Garrido [2010] constitui, assim, uma linha de investigação paralela ao presente trabalho, distinguindo-se pela escala temporal adoptada para o estudo da degradação de revestimentos por pintura e pelo facto de considerar e quantificar, de forma mais rigorosa, a área destacada dos mesmos.

Neste trabalho, o levantamento dimensional da fachada, assim como a quantificação das áreas afectadas por anomalias, foram realizados através de fotografias - se possível de frente para evitar a distorção - complementadas por informação dimensional recolhida à fita métrica e, eventualmente, posterior tratamento de dados através da reprodução da fachada, à escala, em Autocad 2010 e respectivas medições

(Figura 3.2). Foram ainda utilizados outros meios, de forma a caracterizar os revestimentos e as anomalias detectadas, como é exemplo a bússola, o canivete ou a fita cola.

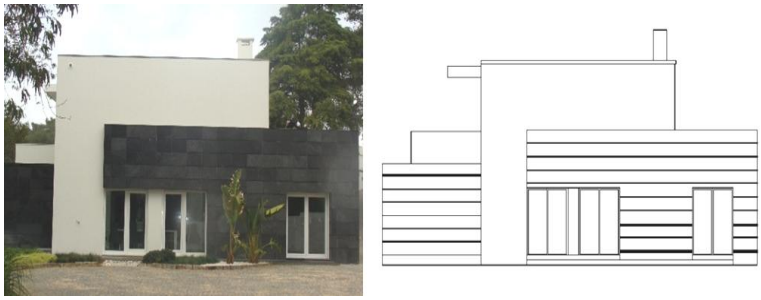


Figura 3.2 - Reprodução da fachada L160.1, à escala, em Autocad 2010

Por outro lado, sempre que possível, reúne-se o máximo de informação complementar antes de se iniciar o trabalho de campo, de forma a enquadrar cada caso de estudo. Esta consiste fundamentalmente em plantas de localização e alçados desenhados à escala (Figura 3.3). Estes elementos fornecem informação quantitativa referente a aspectos dimensionais da fachada, facilitando a quantificação da área opaca e da área afectada por anomalias, além de dar informação acerca do número de pisos e uma ideia da dimensão / área do edifício a inspeccionar, antes da visita ao local.

Figura 3.3 - Registo fotográfico e alçado da fachada L121.2 em ficheiro do tipo CAD

3.1.3 Organização do trabalho de campo

O trabalho de campo divide-se em três etapas fundamentais: a selecção dos casos de estudo, o desenvolvimento da metodologia de recolha e registo de dados e, por fim, o levantamento e a caracterização da amostra analisada (Figura 3.4).

A selecção dos edifícios a analisar é realizada em função dos principais factores de degradação, materializados através da definição de critérios, referentes às características da amostra e aos factores condicionantes na degradação.

A recolha de dados deve conter toda a informação necessária à modelação da degradação ao longo da vida útil dos revestimentos (capítulo 4), sistematizada através da ficha de inspecção. Esta deve conter três tipos de informação: a recolha de dados prévia, a recolha de dados de campo, assim como dados obtidos após a inspecção visual, nomeadamente as dimensões da fachada e a quantificação das áreas das anomalias.

Concluídas as duas etapas referidas, procede-se ao levantamento e à caracterização da amostra, no que se refere às condições ambientais e às características construtivas dos edifícios inspeccionados, aos tipos de revestimentos estudados e às anomalias detectadas.

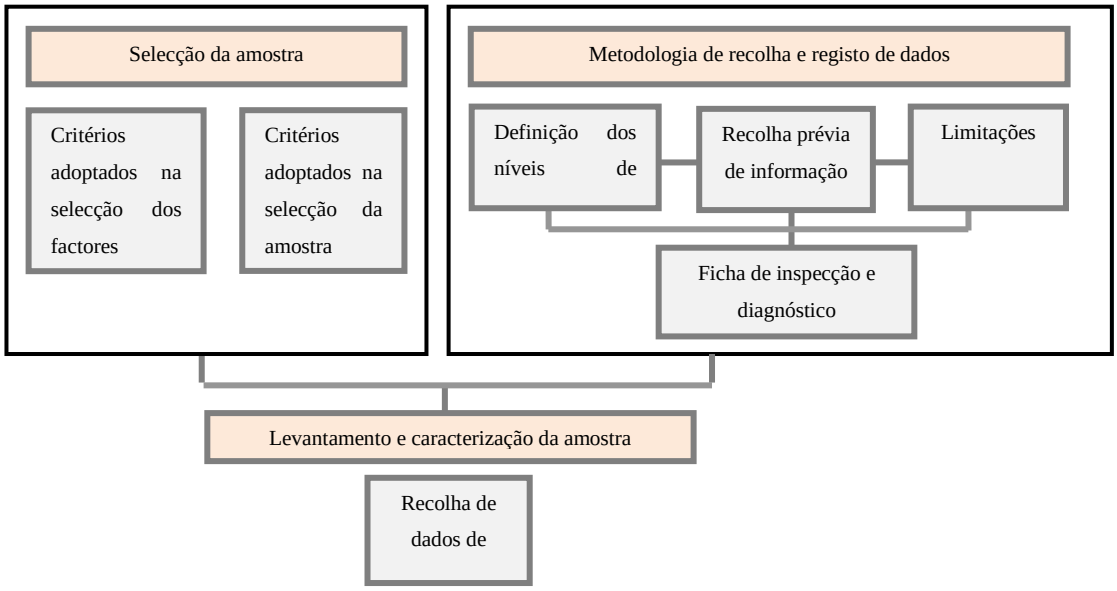

Selecção da amostra
Critérios adoptados na selecção dos factores
Critérios adoptados na selecção da amostra
Metodologia de recolha e registo de dados
Definição dos níveis de
Recolha prévia de informação
Limitações
Ficha de inspecção e diagnóstico
Levantamento e caracterização da amostra
Recolha de dados de

Figura 3.4 - Representação esquemática das diferentes etapas do trabalho de campo

3.2 Selecção da amostra

Pretende-se descrever os principais critérios adoptados na selecção dos edifícios analisados, especificar as diferentes fontes consultadas, assim como identificar os factores de degradação considerados no presente estudo.

3.2.1 Critérios adoptados na selecção da amostra

No âmbito da campanha visual, foram analisados 220 revestimentos por pintura, aplicados directamente sobre rebocos ou sobre pinturas já existentes, pertencentes ao parque edificado do distrito de Lisboa. O presente trabalho abrange revestimentos aplicados em fachadas de edifícios, constituídas totalmente ou parcialmente por revestimentos por pintura, independentemente da sua tipologia construtiva, com construção anterior e posterior a 1940 (edifícios antigos e novos).

Os principais critérios de selecção de casos de estudo prenderam-se com a idade dos revestimentos, os factores de degradação a que estão sujeitos e o seu estado de conservação.

Relativamente à idade dos revestimentos, a amostra deve cobrir uma gama de idades suficientemente extensa e homogeneamente repartida, de forma a obterem-se pontos nos gráficos, que cubram a totalidade do espectro de idades estudado. O intervalo considerado, na presente análise, é de 18 anos, por se considerar que revestimentos aplicados antes de 1992 já atingiram, na sua grande maioria, o fim da vida útil.

Por outro lado, pretende-se obter uma amostra distribuída uniformemente em função dos diversos factores de degradação. Desta forma, deve existir um número suficiente de revestimentos expostos aos diferentes factores de degradação considerados, para se obterem resultados estatisticamente válidos na modelação do comportamento. Por exemplo, pretende-se obter revestimentos, em número suficiente, com uma gama variada de condições de exposição e de texturas (lisa ou texturada), uniformemente repartidos no intervalo de idades considerado.

A pesquisa de fachadas pintadas, correspondente aos referidos critérios, abrange uma área consideravelmente extensa de estudo. A inexistência de limitações na procura de informação levaria a uma amostra demasiado heterogénea, dificultando a análise da degradação em função dos principais factores condicionantes. Desta forma, foram analisados, preferencialmente, edifícios de baixa altura, até 4 pisos ou de altura inferior a 14 metros, e edifícios com geometria compacta ou, mais explicitamente, com fachadas tendencialmente lisas, sem recortes, saliências, volumes, esquinas ou recuos. Pretende-se, assim, facilitar a acessibilidade visual à parte superior da fachada e a percepção visual da degradação.

3.2.2 Fontes consultadas

No que se refere à metodologia de selecção de casos, estava inicialmente previsto seleccionarem-se os edifícios a inspeccionar com as características pretendidas e, posteriormente, através da sua morada, obter-se informação acerca do tipo de tinta e da idade da pintura. No entanto, devido à falta de dados acessíveis e à ausência de registos, a pesquisa teve de ser realizada de forma inversa, limitando os edifícios estudados aos dados existentes nas fontes consultadas. Desta forma, a maioria das características dos edifícios apenas são conhecida depois da visita ao local, dificultando o processo de selecção e limitando o número de casos inseridos no âmbito desta pesquisa. Optou-se, assim, por não adoptar um rigor excessivo na selecção dos edifícios, sobretudo no que se refere à tipologia construtiva. Um processo de exclusão demasiado exaustivo acabaria por condicionar a validade dos modelos de degradação, pelo reduzido número de casos analisados e por enviesar a amostra.

A informação recolhida foi obtida através de cinco empresas de produtos de pintura, duas empresas de construção, uma empresa de gestão de condomínios e diversos proprietários / utentes de edifícios. Foram ainda inspeccionados diversos revestimentos de edifícios antigos, já analisados por Garrido [2010], no que se refere à área destacada.

Na Figura 3.5, apresenta-se a distribuição dos edifícios analisados em função da fonte consultada. Como se pode observar, foi feito um esforço para se conseguir o máximo de informação em empresas de produtos de pintura, conseguindo-se assim dados mais detalhados acerca dos esquemas de pintura aplicados, nomeadamente o tipo de produto e a natureza do ligante. A pesquisa começou de forma generalista, através da consulta dos relatórios técnicos existentes, focando a análise exclusivamente em esquemas de pintura de paredes exteriores com moradas associadas. Depois de reunidos estes dados, excluem-se os casos que não dizem respeito a fachadas rebocadas e, posteriormente, limita-se a pesquisa a edifícios situados no distrito de Lisboa. O último filtro aplicado na selecção dos edifícios consiste no cruzamento de dados de esquemas de pintura previstos e realizados.

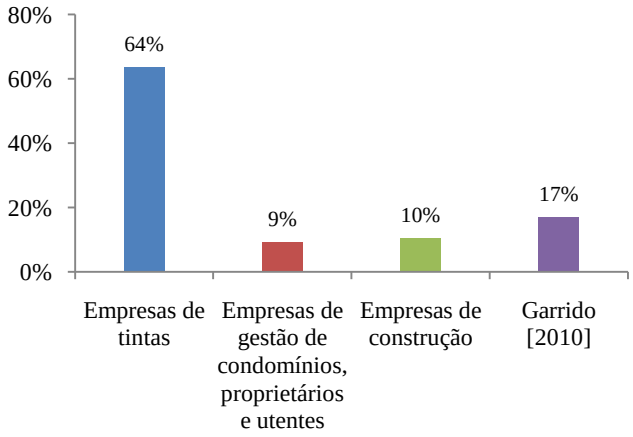


Figura 3.5 - Distribuição da amostra em função das fontes consultadas

3.2.3 Critérios adoptados na selecção dos factores condicionantes

O conceito de factor de degradação utilizado no presente trabalho engloba qualquer factor que possa influenciar a durabilidade do material em estudo. A consideração de factores condicionantes de degradação tem por objectivo evidenciar comportamentos diferenciados em função dos mesmos, funcionando como filtros [Garrido, 2010] que reúnem conjuntos de edifícios de acordo com determinadas características comuns.

Para a sua definição, utilizou-se como referência a listagem dos parâmetros que mais directamente influenciam o tempo de vida útil dos revestimentos, de acordo com a norma ISO 15686 [2000], nomeadamente:

- características do material;
- factores de projecto;
- factores de execução;
- condições ambientais e de exposição;
- manutenção.

A especificação dos factores de degradação considerados no presente trabalho pressupõe que a metodologia adoptada é capaz de identificar, estimar, quantificar ou especificar. Desta forma, ficam excluídos, apesar da sua comprovada importância no desempenho dos revestimentos, os factores de execução pela impossibilidade de se conhecerem as condições em que foi aplicada a tinta, o tipo de mão de obra, o método de aplicação ou, genericamente, a qualidade da execução.

Relativamente às características do material, aos factores de projecto, às condições ambientais e à manutenção, estes parâmetros foram decompostos em variáveis (Tabela 3.1), identificadas no trabalho de campo, para cada caso de estudo. Cada uma destas variáveis, reúne fachadas com características comuns, permitindo alcançar uma base de dados concisa e útil para o objectivo desejado. Nesta escolha, adoptou-se, sempre que possível, o princípio da simplicidade do método, com o objectivo de possibilitar a sua aplicação por técnicos não especializados no domínio da construção [Gaspar, 2009].

Interessa também referir que, relativamente à manutenção, esta é tratada como a última reparação do revestimento, o que corresponde, em todos os casos de estudo, à data da última pintura da fachada. A idade dos revestimentos assume primordial importância nesta investigação pois vai influenciar, de forma determinante, a mancha de pontos obtida nos gráficos de degradação.

Por último, o enquadramento de cada fachada inspeccionada, no que se refere aos factores de degradação, inclui, assim, dados de recolha directa (idade) e indirecta (como os factores ambientais, decorrentes da localização e condições de exposição de cada caso em particular).

Tabela 3.1 - Decomposição dos factores de degradação em variáveis, identificáveis no trabalho de campo

Características do material
Tipo de produto
Tipo de suporte
Cor
Textura
Factores de projecto
Número de pisos
Condições ambientais e de exposição
Proximidade de fontes poluentes
Exposição à humidade
Proximidade do mar
Acção vento-chuva
Orientação da fachada
Manutenção
Idade do revestimento

3.3 Metodologia de recolha e registo de dados

Pretende-se apresentar a metodologia de recolha de dados desenvolvida neste trabalho, identificando a natureza da informação registada na ficha de inspecção, assim como abordar algumas dificuldades encontradas no decorrer da presente pesquisa.

3.3.1 Interesse do levantamento visual

A metodologia adoptada na previsão de vida útil de revestimentos de superfícies pintadas baseia-se, como referido, na recolha de dados de campo, sendo o respectivo levantamento realizado através de inspecções visuais.

O levantamento visual dos revestimentos, através de simples inspecções visuais, apesar de ser uma ferramenta falível [Silva, 2009], apresenta vantagens em relação à informação baseada em ensaios (destrutivos ou não destrutivos) *in-situ* ou ensaios laboratoriais (testes de envelhecimento acelerado).

De acordo com Gaspar [2009], é a opção que mais facilmente permite uma transposição prática para metodologias de manutenção correntes, dispensando os elevados custos e complexidade de meios que as outras técnicas implicam.

Gaspar [2002] sublinha a dificuldade de se efectuar uma correspondência directa entre os dados de campo e os teste laboratoriais, devido ao facto de as variáveis que condicionam ou favorecem a durabilidade serem muito numerosas e com elevadas possibilidades de combinação entre si.

Gonçalves [1997] acrescenta ainda que os testes de laboratório não têm uma correspondência directa com a degradação dos elementos expostos em condições naturais, requerendo uma validação de dados recolhidos em campo, que avaliam a durabilidade e o comportamento dos materiais em condições reais.

3.3.2 Ficha de inspecção e diagnóstico

A ficha de inspecção e diagnóstico visa sistematizar o trabalho de campo, de forma a simplificar e a organizar a informação recolhida. Pretende-se, desta forma, elaborar uma metodologia de recolha de dados, de registo e de quantificação das anomalias detectadas.

Esta deve conter a informação necessária:

- à definição do nível global de degradação da fachada, nomeadamente a extensão e o nível de degradação das anomalias detectadas (critérios de quantificação da anomalia), assim como a área pintada da fachada;

- à análise da evolução da degradação em função de factores relevantes, como é exemplo a idade, a exposição à humidade ou o produto de pintura utilizado.

A informação pode ainda classificar-se em dois grupos: recolha prévia e recolha de dados de campo. Estas informações são registadas, de forma a obter-se, para cada fachada analisada, uma base escrita com toda a informação necessária à posterior análise de dados.

3.3.2.1 Informação constante na ficha de inspecção e diagnóstico

A ficha de inspecção (Anexo I) foi elaborada, primeiramente, com base em fichas de inspecção anteriormente realizadas por Gaspar [2002], Bordalo [2008] e Silva [2009], referentes a rebocos exteriores, a revestimentos cerâmicos e de pedra natural, respectivamente. A razão prende-se com a linha de investigação em que se insere este trabalho, existindo dados de referência comuns aos restantes revestimentos de fachadas.

Adquiridas as bases necessárias para a compreensão dos aspectos relacionados com o comportamento dos revestimentos por pintura e a sua durabilidade, os seus mecanismos e factores de degradação (capítulo 2), a ficha de inspecção foi adaptada especificamente a revestimentos por pintura, contendo todos os elementos necessários à correcta descrição dos revestimentos, dos factores de degradação associados e das anomalias existentes.

A ficha divide-se em duas partes distintas. Na primeira (Tabela 3.2), além da características gerais dos edifícios analisados, especificam-se os factores de degradação condicionantes no comportamento dos revestimentos, para posterior análise da sua influência na durabilidade de fachadas pintadas. Os factores de degradação considerados encontram-se de acordo com os descritos em 3.2.3.

Tabela 3.2 - Informação constante na primeira parte da ficha de inspecção e diagnóstico

Análise dos factores condicionantes na degradação		
Identificação e características geral do edifício		
Endereço		
Ano de conclusão		
Tipo de envolvente		urbano / rural / marítimo / industrial
Número de fachadas livres		
Número de fachadas pintadas		
Tipologia do edifício		
Função predominante		habitação / serviços / comércio
Número de pisos elevados		
Estrutura do edifício		
Configuração volumétrica do edifício		compacta / irregular
Características gerais da fachada		
Tipo de fachada		principal / lateral / tardoz;
Orientação da fachada		Norte / Sul / Este / Oeste
Área da fachada (em m^2)		
Área pintada da fachada (em m^2)		
Características gerais do revestimento por pintura		
Tipo de produto		
Número de demãos		
Método de aplicação		
Base de aplicação		
Aspecto global	cor	
	brilho	
	textura	
Condições ambientais locais		
Proximidade de fontes poluentes		sim / não
Acção da chuva-vento		suave / moderada / severa
Exposição à humidade		favorável /normal /desfavorável
Proximidade do mar		≤ 1 km / ≤ 5 km / ≥ 5 km
Manutenção		
Tipo de reparação		
Data da última reparação (idade da pintura)		

A segunda parte, referente à identificação das anomalias existentes e à caracterização do estado de degradação, consiste na informação sobre a condição da fachada que permite, através da metodologia apresentada no capítulo 4, definir o nível de degradação geral do revestimento.

Foram considerados quatro grupos distintos de anomalias (de acordo com a classificação realizada em 4.4.1) e quatro grupos de causas que podem estar na sua origem (de acordo com a classificação realizada em 3.6), à excepção de algumas anomalias excluídas, aspecto desenvolvido mais à frente. Por outro lado, foram consideradas cinco localizações distintas (zona corrente da fachada, periferia das janelas / portas, cantos, zona saliente / reentrante e zona superior da fachada), permitindo tipificar mais facilmente os mecanismos de degradação em revestimentos por pintura.

Além do levantamento das anomalias existentes, deve identificar-se:

- o nível de degradação de cada anomalia detectada, segundo a classificação realizada em 3.4.2.2;
- a localização de cada anomalia no revestimento;
- as causas prováveis de cada anomalia;
- a extensão de cada anomalia, em área ou em percentagem de área afectada;
- o aspecto global do revestimento em termos de degradação (nível 0, 1, 2, 3 ou 4).

Por último, a especificação do aspecto global da fachada tem por objectivo a comparação entre a percepção do nível de degradação na campanha visual (capítulo 3) e através da metodologia de análise de resultados desenvolvida (capítulo 4).

3.3.2.2 Dificuldades na recolha de informação e exclusão de casos de estudo

A recolha de informação divide-se, como referido, em dois tipos: a recolha de dados de campo e a recolha prévia de informação.

A recolha de dados de campo consiste no levantamento de dados que se retiram directamente da inspecção visual da fachada, designadamente informações referentes à condição da fachada e à quantificação de alguns factores de degradação, como é exemplo a orientação solar e o número de pisos elevados.

A recolha prévia de informação define-se como a pesquisa de todos os dados necessários à quantificação da degradação e à identificação dos factores condicionantes, que não são recolhidos em campo e que devem ser, assim, obtidos antes da inspecção visual.

A idade da pintura ou repintura é, indiscutivelmente, o dado mais importante nesta análise. No entanto, existem outros factores que podem influenciar a durabilidade dos revestimentos por pintura. Pelo referido no capítulo 2, a espessura da película e o tipo de ligante são dois factores com uma influência significativa na degradação das pinturas. Se o primeiro factor apenas se pode obter, com precisão, através da recolha de amostras e de análises laboratoriais, no segundo caso parece mais directa a obtenção de informação.

No entanto, alguns constrangimentos surgiram no decorrer da pesquisa referente aos factores de degradação condicionantes, pelos motivos a seguir enumerados, alguns dos quais referidos no capítulo anterior:

- a dificuldade em identificar e distinguir os tipos de tinta aplicados em paredes sem recorrer a análises de laboratório, incerteza sentida até por investigadores com largas décadas de experiência nesta área;

- existe uma falta de registos de obra, fiáveis ou facilmente disponíveis, onde se especifique quais os revestimentos por pintura aplicados e o comportamento observado durante ou após a sua aplicação [Brito, 2009];

- algumas empresas optam por não divulgar informação desta natureza e, mesmo ultrapassando a dificuldade referida, não existe garantia de que os esquemas de pintura obtidos nas empresas consultadas tenham sido respeitados; são, por vezes, apenas pareceres ou informação obtida para efeitos de orçamentação; assim, sempre que possível, cruzam-se os dados dos trabalhos previstos com os realizados;

- por outro lado, não existe garantia de que não tenha havido uma intervenção posterior na fachada, o que levou à exclusão de alguns casos de estudo depois da visita ao local, nomeadamente quando se observou não haver correspondência entre a informação relativa à data da última intervenção na fachada e o estado geral do revestimento;

- os esquemas de pintura obtidos em empresas de tintas não têm, frequentemente, uma morada associada, referindo apenas a zona em questão; estes dados tiveram, assim, de ser excluídos da presente análise;

- os registos existentes nas empresas são em número limitado e muito dispersos a nível nacional, sendo os referentes a Lisboa escassos;

- contrariamente à linha de investigação de Bordalo [2008] e Silva [2009] na qual se insere este trabalho - onde já existiam bases de dados realizadas por Silvestre [2005] e Neto [2008]; respectivamente - ainda não existem quaisquer dados disponíveis relativamente a revestimentos por pintura;

- contrariamente a materiais como a pedra natural, onde a idade corresponde frequentemente à data de construção do edifício, as fachadas pintadas são alvo de trabalhos de reparação mais frequentes, consistindo, na maioria dos casos, numa repintura, sendo a sua data exacta de difícil obtenção;

- a informação de moradores, relativamente à data da última pintura, não tem por vezes qualquer correspondência com os dados existentes na Câmara Municipal, o que leva a crer que alguns processos de obra não têm registos referentes à pintura de fachadas; esta situação é mais provável em alguns casos, nomeadamente quando não há necessidade de licença para ocupação da via pública;

- os registos existentes na Câmara Municipal de Lisboa não especificam o tipo de reparação efectuada; referem apenas tratar-se de uma obra de beneficiação ou reparação da fachada; o tipo de reparação realizada pode dizer respeito tanto a uma repintura da fachada, como a uma limpeza de peitoris, por exemplo; assim, existe uma incerteza associada à informação consultada.

3.4 Classificação e definição dos níveis de degradação

Pretende-se classificar e definir níveis de degradação para cada anomalia, segundo uma escala física e visual dos revestimentos, com vista à sua utilização em modelos de levantamento baseados na definição de patamares de degradação.

Interessa que a escala numérica adoptada seja facilmente perceptível, optando-se, por vezes, por apresentar - conjuntamente com as escalas físicas - padrões visuais de referência ou escalas visuais.

3.4.1 Classificação das anomalias

A sistematização da informação referente aos dados de referência, necessários ao levantamento e classificação de anomalias, resulta da necessidade de se estabelecerem critérios de inspecção rigorosos, que sirvam de base à recolha de informação de campo, com vista à quantificação da degradação global dos revestimentos por pintura.

Alguns objectivos e passos necessários à elaboração desta base de informação de referência já foram concretizados no capítulo anterior, nomeadamente:

- identificação e descrição dos fenómenos de degradação que afectam a durabilidade de revestimentos de fachadas;

- apresentação de quadros de relação entre as anomalias listadas e as suas causas prováveis.

Nesta parte, pretende-se classificar as anomalias descritas em grupos clara e facilmente identificáveis na avaliação visual dos revestimentos, para posterior categorização do nível de gravidade.

Interessa referir que, no âmbito de previsão de vida útil, apenas interessam as anomalias que apresentam evolução da degradação ao longo do tempo. Desta forma, considera-se, neste trabalho, que uma anomalia é a manifestação (patológica) do mecanismo de degradação que lhe está associado, sendo este um processo possível de modelar. Não se pretendendo proceder a uma caracterização generalizada da situação existente em termos de estado de conservação de fachadas pintadas, as anomalias que não estão associadas a mecanismos de degradação e que são fenómenos pontuais, como é o caso de *graffiti* ou bicos de alfinete, não são tidas em conta nos modelos de degradação. Opta-se, assim, por não as considerar para efeitos de modelação, procedendo-se simplesmente ao seu registo durante o levantamento de dados de campo.

De acordo com a linha de investigação em que se insere este trabalho ([Gaspar, 2002], [Bordalo, 2008], [Gaspar, 2009] e [Silva, 2009]), apesar de geralmente as anomalias dos revestimentos não surgirem de forma isolada, o levantamento das mesmas foi realizado de forma independente, simplificando a sua caracterização e classificação. No âmbito da modelação da degradação, interessa mais uma classificação de anomalias que tenha em conta a percepção visual da degradação e o efeito que provocam no revestimento em termos de durabilidade, do que as causas associadas aos mecanismos de degradação

identificados. O objectivo deste trabalho não é a definição de técnicas para a resolução das anomalias mas o desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de vida útil.

Refere-se que seria possível dividir as anomalias em apenas dois grupos distintos: anomalias funcionais e anomalias estéticas, distinguindo, desta forma, as duas principais funções dos revestimentos por pintura, nomeadamente protecção do suporte e qualidade estética, respectivamente.

No entanto, a adopção de quatro grupos facilita a organização da informação, sendo mais detalhada a definição dos níveis de degradação para cada um dos conjuntos referidos. Por outro lado, melhora a percepção da evolução da degradação, dando esta classificação uma ideia da severidade das anomalias. Por exemplo, o conjunto de anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas é, frequentemente, menos grave do que a perda de aderência. Desta forma, é possível, clara e simplificadamente, classificar as anomalias existentes numa das categorias seguintes:

- anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas;
- anomalias do tipo fissuração;
- anomalias do tipo perda de coesão / pulverulência;
- anomalias do tipo perda de aderência (empolamento e destacamento).

De acordo com especialistas consultados oralmente, as manchas e as alterações cromáticas precedem a fissuração, que antecede, em geral, os empolamentos e os destacamentos. Assim, é expectável, de forma generalista, que revestimentos recentes apresentem mais manchas e que, só a partir de uma certa idade (que seria interessante avaliar), comecem a surgir perdas de aderência localizadas. Desta forma, existem três tipos principais de anomalias que afectam os revestimentos por pintura, com uma hierarquia crescente de gravidade: “manchas”, “fissuração” e “perda de aderência”.

Relativamente à pulverulência, proveniente da desagregação de um ou vários componentes do revestimento por pintura, quando não em excesso, pode ter um efeito de melhoria na fachadas, permitindo a lavagem do revestimento e contribuindo para a perda de material degradado. Sendo este conceito de difícil análise e avaliação no trabalho de campo, este aspecto não será tido em conta neste trabalho, considerando-se a pulverulência como uma anomalia responsável por uma diminuição da espessura e, desta forma, por uma menor protecção conferida pelo revestimento ao suporte.

3.4.2 Níveis de degradação das anomalias

De acordo com vários autores [Flier e Thomsen, 2002], os resultados de trabalhos de campo podem fornecer uma imagem distorcida da realidade se não se considerarem aspectos como a severidade das anomalias registadas. Para ultrapassar esta situação, pretende-se aqui definir níveis ou patamares de degradação para os defeitos registados, consoante a sua gravidade e o grupo de anomalias considerado.

O critério considerado na definição dos níveis de degradação é a severidade, relacionada com as consequências que as anomalias têm nos revestimentos, tanto a nível de protecção, como de percepção

visual. A extensão ou área afectada é um conceito distinto, sendo outro dos aspectos a ter em conta no nível de degradação global e, assim, de importante definição no trabalho de campo.

3.4.2.1 Enquadramento e normalização

Existem vários estudos que definem escalas de degradação, com vista à elaboração de modelos de degradação e à previsão de vida útil de rebocos [Gaspar, 2002], [Gaspar e Brito, 2005], [Gaspar e Brito, 2008a], [Gaspar e Brito, 2008b], [Gaspar, 2009], de revestimentos exteriores [Shohet e Paciuk, 2004], de revestimentos cerâmicos aderentes [Bordalo, 2008], [Bordalo et al., 2011] e de revestimentos de pedra natural [Silva, 2009], [Silva et al., 2011a].

Apesar de todos adoptarem escalas de degradação, os critérios de quantificação diferem consoante a investigação em causa: [Gaspar e Brito, 2005], [Bordalo, 2008], [Silva, 2009], [Bordalo et al., 2011], [Silva et al., 2011] determinam a severidade das anomalias consoante o tipo de anomalia e a área afectada; [Shohet e Paciuk, 2004] estabelecem uma escala física e visual relativa a revestimentos exteriores, que tem em conta a área afectada e a dimensão das anomalias. Por fim, Gaspar [2009] elabora um atlas da degradação, que consiste numa listagem de informação escrita e fotográfica referente aos diversos tipos de anomalias que afectam os rebocos, classificados em função da sua condição, isto é, do nível de degradação.

O tema de revestimentos por pintura e mais especificamente das suas anomalias, tem uma publicação de carácter normativo pelo Instituto Português da Qualidade [NP EN ISO 4628], constituindo uma base de informação muito útil no decorrer deste trabalho. O objectivo das normas é definir um sistema para designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações no aspecto dos revestimentos, fornecendo padrões visuais de referência ou outros meios de avaliação. Adicionalmente à quantificação do nível de severidade, deve ser referida a dimensão aproximada da área em avaliação ou a sua proporção na área total ensaiada, expressa em percentagem. As normas existentes e actualmente em vigor, em que se insere o presente trabalho, são as seguintes:

- NP EN ISO 4628-1 [2005], Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 1: Introdução geral e sistema de designação;

- NP EN ISO 4628-2 [2005],Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 2: Avaliação do grau de empolamento;

- NP EN ISO 4628-4 [2005], Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 4: Avaliação do grau de fissuração;

- NP EN ISO 4628-5 [2005], Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 5: Avaliação do grau de descamação;

- NP EN ISO 4628-7 [2005], Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 7: Avaliação do grau de pulverulência pelo método do tecido aveludado.

3.4.2.1.1 Sistema de designação

A norma NP EN ISO 4628 define três parâmetros gerais para quantificação do nível de degradação das anomalias: quantidade, dimensão e intensidade das alterações, de acordo com as escalas definidas nas Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5, respectivamente.

Tabela 3.3 - Escala para designação da quantidade de defeitos [NP EN ISO 4628 - 1, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Nenhuma (sem defeitos detectáveis)
1	Muito pouca (número pequeno e pouco significativo de defeitos)
2	Pouca (número pequeno mas significativo de defeitos)
3	Moderada (número moderado de defeitos)
4	Elevada (número considerável de defeitos)
5	Muito elevada (padrão denso de defeitos)

A NP EN ISO 4628-1 [2005] é, sobretudo, aplicável a defeitos causados por envelhecimento ou por acção atmosférica, e alterações uniformes como alterações de cor. Na classificação de anomalias adoptada neste trabalho, esta norma é, assim, aplicável a anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas. As outras partes da NP EN ISO 4628 fornecem padrões visuais de referência ou escalas físicas para tipos particulares de defeitos, nomeadamente empolamento, fissuração, destacamento e pulverulência.

Tabela 3.4 - Escala para designação da dimensão dos defeitos [NP EN ISO 4628 - 1, 2005]

Grau	Intensidade das alterações (*)
0	Não visível com uma ampliação de 10x
1	Visível com uma ampliação de 10x
2	Visível com visão normal corrigida
3	Claramente visível com visão normal corrigida (até 0.5 mm)
4	De 0.5 mm a 5 mm
5	Maior do que 5 mm
(*) Excepto se especificado de outro modo nas outras partes da norma NP EN ISO 4628	

Tabela 3.5 - Escala para designação da intensidade das alterações [NP EN ISO 4628 - 1, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Inalterada (alterações não perceptíveis)
1	Muito ligeira (alterações pouco perceptíveis)
2	Ligeira (alterações pouco pronunciadas)
3	Moderada (alterações bastante perceptíveis)
4	Elevada (alterações pronunciadas)
5	Muito elevada (alterações muito pronunciadas)

3.4.2.1.2 Empolamento

A NP EN ISO 4628-2 [2005] fornece padrões visuais de referência para avaliação do grau de empolamento de revestimentos por pintura. Os referidos padrões ilustram empolamentos de dimensões 2, 3, 4 e 5, e cada dimensão nas quantidades (densidades) 2, 3, 4 e 5.

A titulo exemplificativo e de acordo com a referida norma, apresentam-se, nas Figuras 3.6 e 3.7, os padrões visuais de referência, referentes a empolamentos de dimensão 3 e 5.

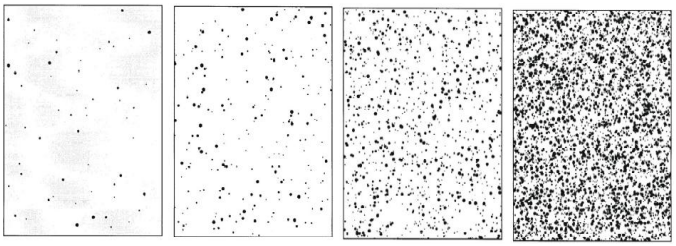


Figura 3.6 - Padrões visuais de referência de dimensão 3 e quantidade 2, 3, 4 e 5 [NP EN ISO 4628-2, 2005]

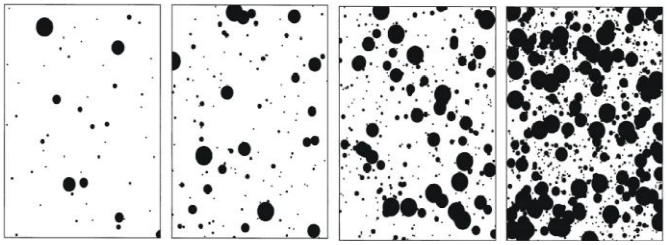


Figura 3.7 - Padrões visuais de referência de dimensão 5 e quantidade 2, 3, 4 e 5 [NP EN ISO 4628-2, 2005]

3.4.2.1.3 Fissuração

A NP EN ISO 4628-4 [2005] descreve um método para a avaliação do grau de fissuração de revestimentos por pintura, em função da dimensão e da quantidade de fissuração, através de escalas físicas e padrões visuais de referência.

Para além da quantidade e da dimensão da fissuração, existe outro parâmetro a ter em conta, apesar de não estar definido quantitativamente: a profundidade das fissuras. De acordo com a norma, são feitas três distinções entre os principais tipos de falha por fissuração:

- fissuras superficiais que não penetram na totalidade da camada do acabamento;
- fissuras que penetram na totalidade da camada do acabamento, não afectando substancialmente as camadas inferiores;
- fissuras que penetram na totalidade do esquema de pintura.

A escala física para avaliação da quantidade de fissuração é apresentada na Tabela 3.6 e a respectiva escala visual na Figura 3.8. A escala física para avaliação da dimensão da fissuração é apresentada na Tabela 3.7.

Tabela 3.6 - Escala para designação da quantidade de fissuração [NP EN ISO 4628-4, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Nenhuma (sem fissuração detectável)
1	Muito pouca (número pequeno e pouco significativo de fissuras)
2	Pouca (número pequeno mas significativo de fissuras)
3	Moderada (número moderado de fissuras)
4	Elevada (número considerável de fissuras)
5	Muito elevada (padrão denso de fissuras)

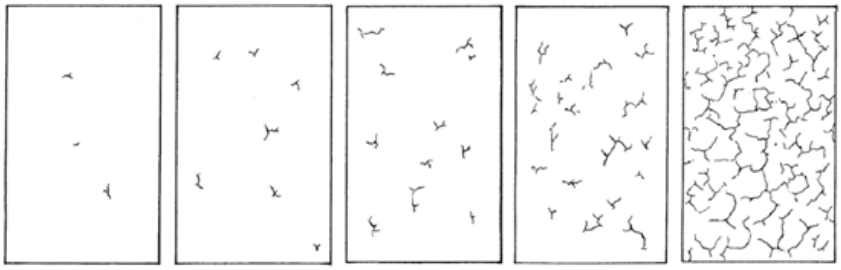


Figura 3.8 - Padrões visuais de referência para designação da quantidade de fissuração sem direcção preferencial (quantidades 1, 2, 3, 4 e 5) [NP EN ISO 4628-4, 2005]

Tabela 3.7 - Escala para designação da dimensão da fissuração [NP EN ISO 4628-4, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Não visível com uma ampliação de 10x
1	Visível com uma ampliação de 10x
2	Visível com visão normal corrigida
3	Claramente visível com visão normal corrigida
4	Fissuras grandes, geralmente até 1 mm de largura
5	Fissuras muito grandes, geralmente com mais do que 1 mm de largura

3.4.2.1.4 Descamação

A NP EN ISO 4628-5 [2005] apresenta um método para a avaliação do grau de destacamento de revestimentos por pintura, classificando as áreas descamadas de um revestimento em termos de quantidade, dimensão e profundidade.

A profundidade classifica-se, simplificadamente, em dois tipos:

- descamação de revestimentos desde uma demão intermédia;
- descamação de todo o sistema de pintura desde o substrato.

De acordo com esta norma, a escala física para avaliação da quantidade de descamação é apresentada na Tabela 3.8 e a respectiva escala visual na Figura 3.9. A escala física para avaliação da dimensão da descamação é apresentada na Tabela 3.9.

Tabela 3.8 - Escala para designação da quantidade de descamação [NP EN ISO 4628-5, 2005]

Grau	Área descamada (%)
0	0
1	0.1
2	0.3
3	1
4	3
5	15

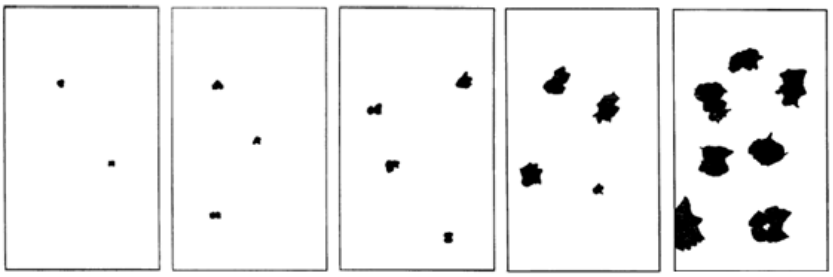


Figura 3.9 - Padrões visuais de referência para designação da quantidade de descamação sem direcção preferencial (quantidades 1, 2, 3, 4 e 5) [adaptado da NP EN ISO 4628-5, 2005]

Tabela 3.9 - Escala para designação da dimensão da descamação [NP EN ISO 4628-5, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Não visível com uma ampliação de 10x
1	Visível com uma ampliação de 10x
2	Visível com visão normal corrigida
3	Claramente visível com visão normal corrigida
4	Fissuras grandes, geralmente até 1 mm de largura
5	Fissuras muito grandes, geralmente com mais do que 1 mm de largura

3.4.2.1.5 Pulverulência

A NP EN ISO 4628-7 [2005] define um método para a avaliação do grau de pulverulência de revestimentos por pintura. O tecido, para fricção da superfície, deve ser pressionado contra o revestimento, rodando uma vez segundo um ângulo de 180º, sendo posteriormente removido e avaliado o grau de pulverulência. A escala para designação da quantidade de pulverulência é apresentada na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 - Escala para designação da quantidade de pulverulência [NP EN ISO 4628-7, 2005]

Grau	Intensidade das alterações
0	Nenhuma (pulverulência não detectável)
1	Muito pouca (pulverulência pouco perceptível)
2	Pouca (pulverulência claramente perceptível)
3	Moderada (pulverulência bastante perceptível)
4	Elevada (pulverulência pronunciada)
5	Muito elevada (pulverulência muito pronunciada)

3.4.2.2 Definição dos níveis de degradação (adoptados no trabalho de campo)

Os critérios apresentados definem uma linguagem global de quantificação das anomalias em tintas, que estabelece critérios rigorosos e perceptíveis na avaliação da degradação, permitindo vencer a subjectividade inerente à categorização do nível de gravidade. Desta forma, os critérios definidos neste trabalho tentam ter em conta, tanto quanto possível, a informação que consta nas normas. Contudo, existem várias razões para se ter adoptado variantes relativamente aos critérios de carácter normativo, nomeadamente:

- as normas não têm em conta a diferença de severidade entre anomalias, adoptando sempre uma escala de 0 a 5 qualquer que seja o mecanismo de degradação considerado, em que o nível 0 representa a ausência de degradação e nível 5 a degradação mais grave; na perspectiva da vida útil, a severidade difere consoante a anomalia em estudo; por exemplo, as anomalias do tipo destacamento representam

o fim da protecção conferida pelo revestimento, pelo que, neste estudo, não se consideraram destacamentos com níveis de gravidade inferiores a um certo valor;

- a necessidade de se elaborar uma escala adaptada aos objectivos do trabalho de campo, limitado em meios técnicos; a título de exemplo, não se dispõe de meios que permitam ampliar 10x as anomalias ou de tecidos específicos para fricção das superfícies analisadas, no caso da avaliação da pulverulência;

- esta investigação insere-se na previsão de vida útil de revestimentos, sendo que os trabalhos de Bordalo [2008] e Silva [2009] definem uma escala de 0 a 4; um dos desenvolvimentos futuros destes trabalhos é a previsão de vida útil de revestimentos em fachadas com mais do que um material e adoptar uma escala de degradação, comum aos diferentes materiais - em que os níveis definem o mesmo patamar de degradação - é um aspecto simplificativo;

- a falta de conhecimento técnico / sensibilidade para respeitar o grau de detalhe das normas, nomeadamente a dificuldade em distinguir, por exemplo, a pulverulência pouco perceptível, claramente perceptível, bastante perceptível, pronunciada ou muito pronunciada;

- com as limitações existentes, como é exemplo a dificuldade em aceder visualmente à parte superior das fachadas, os critérios das normas são, por vezes, demasiado detalhados; é como se se estivesse a adoptar critérios demasiado elaborados para uma caracterização generalista da degradação, que apenas pretende traduzir o panorama geral da fachada.

Pelas razões enumeradas, pretende-se desenvolver escalas para avaliação da degradação, essencialmente visuais mas também físicas. Estas devem ser facilmente perceptíveis e com um nível de rigor adequado aos objectivos do trabalho, possibilitando a sua aplicação por técnicos não especializados no domínio da construção, no âmbito de processos de gestão da manutenção de edifícios. Desta forma, para cada grupo de anomalias, define-se uma escala de degradação de 0 a 4, onde o nível 0 não apresenta degradação visível e o nível 4 apresenta degradação generalizada.

Na Figura 3.10, apresenta-se, a título exemplificativo, uma representação esquemática do tipo de levantamento realizado, em que cada anomalia existente apresenta um nível de gravidade ou severidade e uma extensão ou área correspondentes. Em caso de dúvida entre dois níveis de degradação, opta-se pelo mais elevado, de forma a ser-se conservativo no levantamento.

3.4.2.2.1 Anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas;

As anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas classificam-se, de acordo com o capítulo anterior, em manchas de humidade, manchas de origem biológica, alterações de cor e brilho, retenção de sujidade e eflorescências.

Estas anomalias, que afectam sobretudo a qualidade visual das fachadas, surgem, geralmente, logo nos primeiros anos de vida útil dos revestimentos por pintura, sendo que a intensidade das alterações depende fortemente das condições ambientais e, como é expectável, da idade

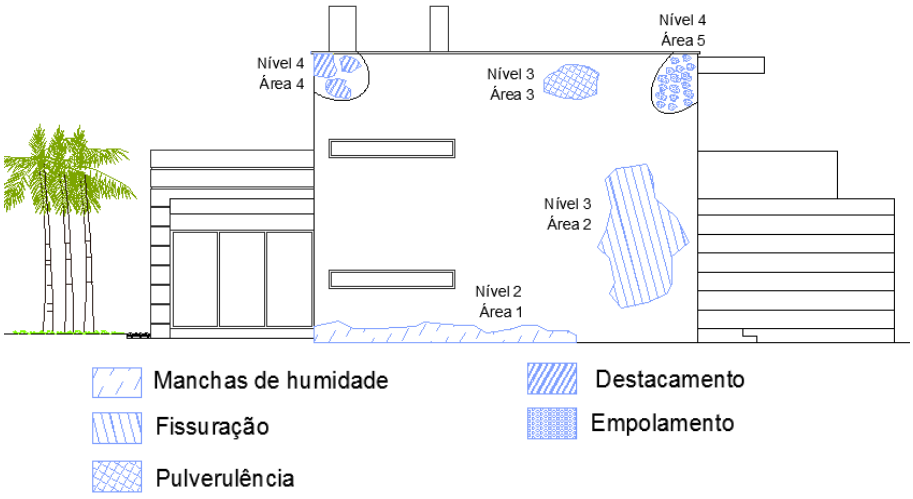


Figura 3.10 - Representação esquemática de tipo de levantamento realizado

Na definição dos níveis de degradação referentes a este grupo de anomalias, existem dois parâmetros a ter em conta, nomeadamente a intensidade das alterações [NP EN ISO 4628-1, 2005] e o tipo de anomalia, dentro da classificação considerada. De facto, apesar de todas as anomalias referidas serem essencialmente estéticas, as suas consequência nos revestimentos, em termos de qualidade visual da fachada, diferem consoante a anomalia em causa. É expectável que, de uma forma geral, uma alteração de cor uniforme, de intensidade ligeira e pouco perceptível, afecte menos a qualidade estética do revestimento do que manchas de origem biológica, de intensidade elevada.

É esta distinção, em termos de consequência na percepção do revestimento ou de severidade da anomalia, que se pretende ter em conta na definição de patamares de degradação. Desta forma, a Tabela 3.11 apresenta a definição de níveis adoptada, consoante a intensidade e o tipo de anomalia, independentemente da extensão da manifestação patológica, que é um parâmetro tido em conta, posteriormente, na definição do nível global de degradação do revestimento. Na referida tabela, apresentam-se também exemplos visuais, o que, por um lado, facilita a percepção da degradação definida e, por outro - uma vez completo - pode funcionar como atlas de degradação (à semelhança da investigação de Gaspar [2009] referente a rebocos), sendo este um elemento de referência para futuras investigações nesta área.

A escala visual de intensidade das alterações adoptada define quatro tipos de alterações: inalterada, intensidade ligeira, intensidade moderada e intensidade elevada. Trata-se de uma escala qualitativa em termos visuais e simplificativa da existente na norma, adequada à capacidade técnica e sensibilidade do autor, de forma a minorar os erros cometidos devido à adopção de escalas demasiado detalhadas

Tabela 3.11 - Definição dos níveis de degradação das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas

Nível 0			
Intensidade das alterações	Inalterada ou alterações não perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sem degradação detectável visualmente		
Exemplos			
Descrição	Alterações não perceptíveis		
Nível 1			
Intensidade das alterações	Ligeira ou alterações pouco perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme Alteração de cor		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme pouco perceptível	Alteração de cor pouco perceptível	
Nível 2			
Intensidade das alterações	Moderada ou alterações bastante perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme Alterações de cor e brilho		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme bastante perceptíveis	Alterações de cor e brilho bastante perceptíveis	
Intensidade das alterações	Ligeira ou alterações pouco perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Sujidade localizada Manchas de humidade Eflorescência		
Exemplos			
Descrição	Manchas de humidade ligeiras		
Nível 3			
Intensidade das alterações	Moderada ou alterações bastante perceptíveis		
Caracterização das anomalias	Manchas de humidade Eflorescências Manchas de origem biológica Sujidade localizada		

Tabela 3.11 - Definição dos níveis de degradação das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas (continuação)

Exemplos			
Descrição	Manchas de humidade bastante perceptíveis	Manchas de origem biológica bastante perceptíveis	
Exemplos			
Descrição	Sujidade localizada bastante perceptível		Eflorescências bastante perceptiveis
Intensidade das alterações	Elevada ou alterações pronunciadas		
Caracterização das anomalias	Sujidade uniforme localizada Alterações de cor e brilho		
Exemplos			
Descrição	Sujidade uniforme e alterações de cor pronunciadas	Sujidade localizada pronunciada	Alterações de cor (descolorações) pronunciadas
Nível 4			
Intensidade das alterações	Elevada ou alterações pronunciadas		
Caracterização das anomalias	Manchas de origem biológica		
Exemplos			
Descrição	Manchas de origem biológica pronunciadas		

3.4.2.2.2 Anomalias do tipo fissuração

A definição dos níveis de degradação das anomalias do tipo fissuração baseia-se nos padrões visuais definidos na respectiva norma [NP EN ISO 4628-4, 2005], em termos de quantidade de fissuração. Este critério simplificado provém da dificuldade em medir a dimensão das fissuras, tanto em termos de largura, como de profundidade. De facto, contrariamente à fissuração que ocorre noutros materiais, as fissuras em revestimentos por pintura têm, geralmente, dimensões inferiores a 1 mm, sendo difícil distinguir a sua dimensão sem uma ampliação adequada. Não se considera a tipologia das fissuras como

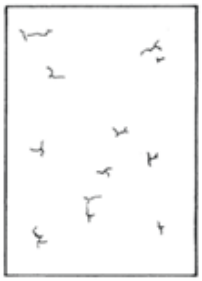
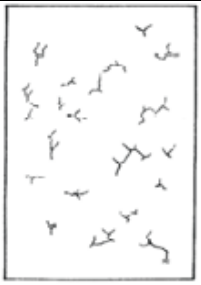
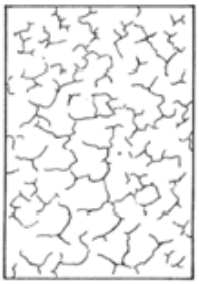
condicionante na definição do nível de degradação, dada a complexidade na percepção e na definição da gravidade segundo este parâmetro.

Os níveis de degradação das anomalias do tipo fissuração cobrem todo o intervalo (níveis 0, 1, 2, 3 e 4) visto que o comportamento e a durabilidade de um revestimento fissurado dependem fortemente do padrão de fissuras nele existente. Havendo um número pequeno e pouco significativo de fissuras, as consequências estão sobretudo relacionadas com a entrada de água e de contaminantes atmosféricos, em quantidade limitada. Esta situação favorece o aparecimento de pequenas manchas de humidade e a retenção de sujidade nas proximidades das fissuras. A partir de um certo padrão, a entrada de água deixa de ser desprezável, favorecendo o desenvolvimento de fungos ou mesmo o aparecimento de empolamentos, no caso de permanência prolongada de humidade na fachada [Cin, 2010a]. Nos casos de fissuração densa, a entrada de água em quantidades consideráveis pode dar origem a destacamentos, por provocar uma menor aderência entre o revestimento e o suporte [Mateus, 2004], [Lopes, 2008]. Este fenómeno marca, assim, o fim da vida útil do revestimento.

No caso de existirem empolamentos, nomeadamente devido à presença de eflorescências, o processo de degradação pode ser inverso ao referido, sendo a perda de aderência localizada a causa do desenvolvimento de fissuração (sobretudo nos casos em que a película não tem flexibilidade suficiente para acompanhar a deformação). O processo natural deste mecanismo de degradação, em que umas anomalias favorecem outras, termina no destacamento de partes do revestimento, deixando o suporte exposto aos diversos agentes de degradação.

Desta forma, a fissuração pode ter diferentes origens, sendo o padrão ou a densidade o parâmetro que define a gravidade deste tipo de anomalia. A escala para designação da quantidade de fissuração, apresentada na Tabela 3.12, foi alterada relativamente à definida na norma, de forma a converter a escala existente de 0 a 5 numa escala de 0 a 4, menos detalhada e, assim, com menor susceptibilidade para dúvidas durante o levantamento dos níveis de degradação das anomalias.

Tabela 3.12 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo fissuração

Nível de degradação	Nível 0	Nível 1 Bom	Nível 2 Degradação ligeira	Nível 3 Degradação mediana	Nível 4 Degradação generalizada
Quantidade	Nenhuma ou sem fissuração detectável	Muito pouca ou pouca (número pequeno de fissuras)	Moderada ou número moderado de fissuras	Elevada ou número considerável de fissuras	Muito elevada ou padrão denso de fissuras
Padrão visual de referência [NP EN ISO 4628-4, 2005]					

3.4.2.2.3 Anomalias do tipo de perda de coesão / pulverulência

O critério adoptado para a definição dos níveis de degradação referentes à pulverulência está de acordo com a NP EN ISO 4628-7 [2005]. O método apresentado é particularmente apropriado para avaliar o grau de pulverulência em revestimentos exteriores brancos ou coloridos e em esquemas de pintura aplicados em superfícies rugosas. A escala para designação do grau de severidade de anomalias do tipo pulverulência (Tabela 3.13), foi simplificada relativamente à existente na norma, pela dificuldade em distinguir a pulverulência pouco perceptível, claramente perceptível, bastante perceptível, pronunciada ou muito pronunciada [NP EN ISO 4628-7, 2005].

Tabela 3.13 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo pulverulência

Nível de degradação	Quantidade
Nível 0	Nenhuma ou pulverulência não perceptível
Nível 1 Bom	Pouca ou pulverulência claramente perceptível
Nível 3 Degradação moderada	Moderada ou pulverulência bastante perceptível
Nível 4 Degradação generalizada	Elevada ou pulverulência muito pronunciada

Existindo pulverulência claramente perceptível mas em pouca quantidade, embora contribua para um diminuição da espessura do revestimento e do seu brilho, pode contribuir para a auto-limpeza do revestimento [Lopes, 2008 citando Hess, 1998], mantendo a cor por mais tempo. Este fenómeno é particularmente característico de revestimentos de cor branca, visto que, em revestimentos coloridos, este tipo de pulverulência acaba por provocar alguma descoloração [Cin, 2010a]. Devido a dualidade de efeitos, opta-se por considerar a severidade desta anomalia de nível 1.

A partir de uma certa quantidade de pulverulência, caracterizada por um perda moderada de material, a diminuição da espessura do revestimento e o seu desgaste são responsáveis por uma menor protecção conferida ao suporte e pela diminuição da impermeabilidade à água.

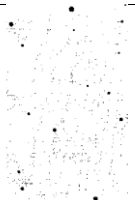
Dada a diferença, em termos de durabilidade do revestimento, entre a pulverulência em pouca e em quantidade moderada, opta-se por adoptar uma escala de degradação não linear. Desta forma, a pulverulência em quantidade moderada é associada ao nível 3, marcando o salto de gravidade existente. Por último, em situações de degradação avançada, a pulverulência muito pronunciada pode ser responsável pelo desaparecimento total e localizado da película, deixando o reboco à vista. Este processo marca o fim da vida útil do revestimento (nível 4).

3.4.2.2.4 Anomalias do tipo perda de aderência

A escala adoptada para os níveis de degradação das anomalias do tipo perda de aderência, nomeadamente destacamentos e empolamentos, foi baseada nas normas existentes. A NP EN ISO 4628-2 [2005] define padrões visuais de referência para expressar a quantidade de empolamento, enquanto que a NP EN ISO 4628-5 [2005], para além das escalas visuais, define escalas para a designação da quantidade (em termos de área afectada) e de dimensão do destacamento.

Assim, a escala elaborada define dois critérios que, tidos em conta em conjunto, permitem definir a gravidade (Tabela 3.14). Os dois referidos critérios são a dimensão e a quantidade. Contrariamente à fissuração, a dimensão das perdas de aderência pode ser muito variada, sendo que assume, aqui, uma importância considerável. É intuitivo que a gravidade de um pequeno número de destacamentos ou empolamentos, numa área de referência, depende fortemente da dimensão destes e não apenas do seu padrão. Assim como no caso de existir um padrão denso de destacamentos, qualquer que seja a sua dimensão, o revestimento atingiu uma degradação generalizada na área analisada (nível 4).

Tabela 3.14 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo perda de aderência

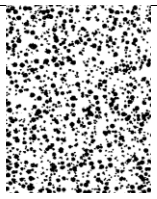
Nível 0		
Caracterização da anomalia	Sem degradação detectável visualmente	
Nível 2		
Caracterização da anomalia	Empolamento	
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade e dimensão até 3 cm	
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]		
Nível 3		
Caracterização da anomalia	Empolamento	
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade e dimensão entre 3 e 5 cm	Quantidade moderada e dimensão inferior a 3 cm
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]		
Caracterização da anomalia	Destacamento	
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Pouca quantidade (área descamada até 1%) e dimensão até 3 cm	
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]		

Havendo dois critérios a ter em conta e sendo, assim, a escala mais complexa, define-se a severidade das anomalias de forma quantitativa, para evitar dúvidas no levantamento. Assim, opta-se por definir áreas, padrões e dimensões limite para cada um dos níveis definidos, facilitando a percepção da degradação.

As anomalias inseridas neste grupo surgem, geralmente, pelo efeito combinado de diferentes anomalias e agentes de degradação. São, assim, mecanismos de degradação complexos que têm maior incidência em idades avançadas, sendo que os destacamentos marcam o fim da vida útil dos revestimentos por pintura. Os empolamentos podem dar origem a fissuração e posterior destacamento. Assim, estas anomalias,

quando existem, já traduzem um estado de degradação avançado. Desta forma, não se consideram empolamentos com níveis de gravidade inferiores ao nível 2, nem destacamentos com graus de severidade inferiores ao nível 3.

Tabela 3.15 - Definição dos níveis de degradação para anomalias do tipo perda de aderência (continuação)

Nível 4			
Caracterização da anomalia	Empolamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Dimensão superior a 5 cm, qualquer que seja a quantidade	Padrão denso de qualquer dimensão	Quantidade moderada e dimensão entre 3 e 5 cm
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			
Caracterização da anomalia	Destacamento		
Quantidade e dimensão das áreas afectadas (maior dimensão)	Padrão denso e moderado (área descamada superior a 1%) de qualquer dimensão		Pouca quantidade e dimensão superior a 5 cm
Padrão visual na área de referência [NP EN ISO 4628-2, 2005 e NP EN ISO 4628-5, 2005]			

Por fim, refere-se que, na Tabela 3.14, os padrões visuais não estão à escala, fornecendo um padrão de referência que pretende, apenas, traduzir visualmente padrões em quantidade pequena, moderada ou elevada, independentemente da dimensão.

3.5 Levantamento e caracterização da amostra

Seleccionados os edifícios a inspeccionar, desenvolvida a metodologia de recolha, registo e tratamento de dados e definidas as escalas de degradação para cada anomalia, procede-se ao levantamento da amostra.

Reunida toda a informação, contida na ficha de inspecção, referente a todos os edifícios analisados, cria-se uma base de dados em Excel, que contém toda a informação relevante e necessária para a caracterização da amostra e para a posterior análise de dados.

3.5.1 Caracterização das construções analisadas

Com vista à caracterização do conjunto de construções estudadas, consideraram-se três parâmetros: a função predominante dos edifícios, a sua geometria volumétrica e o número de pisos elevados (Anexo II). Embora nenhum dos referidos factores seja tratado, directamente, como factor de degradação, as referidas variáveis influenciam, de forma indirecta, os resultados obtidos.

As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam a distribuição da amostra em função dos três parâmetros.

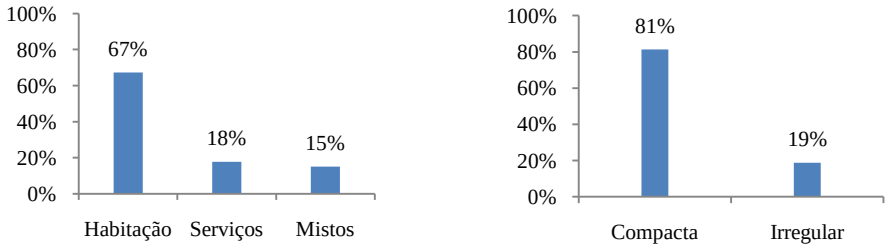


Figura 3.11 - Distribuição da amostra em termos da função predominante dos edifícios (à esquerda) e da sua volumetria geométrica (à direita)

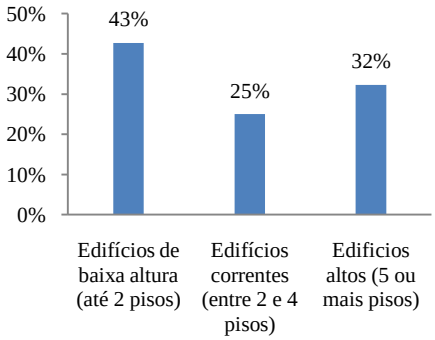


Figura 3.12 - Distribuição da amostra relativamente à função predominante dos edifícios e ao número de pisos elevados

No que se refere à função predominante dos edifícios analisados, a grande maioria são edifícios de habitação e apenas 18% e 15% são edifícios de serviços e edifícios com função mista, respectivamente. Relativamente à altura dos edifícios, foram, como referido, inspeccionados preferencialmente edifícios de baixa altura (até 2 pisos), facilitando a acessibilidade visual à parte superior da fachada. Este conjunto de casos de estudo representa 43% das fachadas estudadas. Por outro lado, 71 edifícios, correspondentes a uma fatia da amostra de 32%, correspondem a edifícios altos e apenas 55 edifícios, correspondentes a 25% da amostra, correspondem a edifícios correntes (entre 2 e 4 pisos). Este parâmetro condiciona a exposição à acção vento / chuva dos edifícios, visto que, quanto maior for o número de pisos, maior será a incidência da referida combinação de agentes de degradação.

Por fim, a grande maioria dos edifícios analisados tem uma geometria volumétrica compacta e apenas 19% apresentam geometria irregular. Este aspecto foi favorável no trabalho de campo, facilitando a acessibilidade visual da fachada.

3.5.2 Caracterização das zonas estudadas

A caracterização da zona estudada consiste na identificação das condições ambientais e de exposição a que estão sujeitos os revestimentos (Anexo II). Esta análise assume primordial importância pois representa, frequentemente e de acordo com o capítulo 2, as causas que estão na origem do aparecimento da maioria dos mecanismos de degradação, existentes em revestimentos por pintura. A caracterização da

amostra no que se refere a estes factores foi facilitada pela disponibilidade de dados rigorosos para cada caso de estudo.

Os parâmetros considerados são a proximidade do mar, a humidade, a acção vento / chuva, a orientação solar e a proximidade de fontes poluentes. Os critérios de análise adoptados encontram-se de acordo com a investigação de Gaspar [2009].

Na Figura 3.13, é apresentada a distribuição dos edifícios analisados em função dos concelhos a que pertencem. A maioria dos casos estudados situa-se em Lisboa, seguido de Oeiras, Cascais e, por fim, Amadora, Loures e Odivelas.

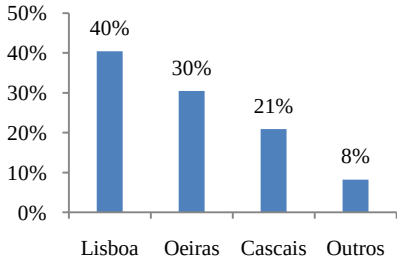


Figura 3.13 - Distribuição da amostra em função do concelho

3.5.2.1 Proximidade do mar

A zona da faixa costeira caracteriza-se pelo efeito de ventos, geralmente fortes, carregados de humidade, transportando sais que atacam em maior ou menor grau todos os materiais de construção [Ferreira, 2004].

Em Portugal, associadas ao efeito de sais do mar, acrescem ainda a forte exposição dos edifícios aos raios ultra-violeta e uma elevada humidade relativa. Os ventos podem igualmente transportar algas que colonizam as fachadas [Gaspar, 2009].

Em relação à proximidade do mar, adoptam-se, de acordo com Ferreira [2004], os seguintes critérios:

- normal, para as situações de edifícios localizados a mais de 5 km da linha da costa;
- desfavorável, para as situações de edifícios localizados em zonas até 5 km da costa ou sob influência directa de ventos dominantes soprados do mar;
- incidência directa, para edifícios localizados a menos de 1 km da linha da costa.

A Figura 3.14 apresenta a distribuição da amostra em função da proximidade do mar, permitindo verificar que a amostra se encontra relativamente bem distribuída relativamente a este parâmetro. No entanto, o número de casos a mais de 5 km da linha da costa é o que tem maior representatividade, sendo o número de fachadas a menos de 1 km da costa, a que tem menor prevalência, correspondente a alguns casos de estudo em Oeiras e Cascais.

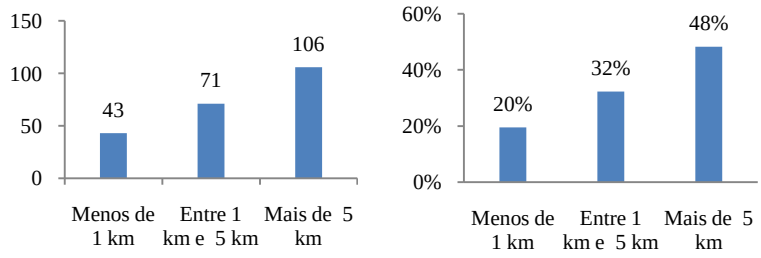


Figura 3.14 - Distribuição da amostra em função da proximidade do mar, em número de casos (esquerda) e em percentagem de casos (direita)

3.5.2.2 Humidade

Na definição de critérios de classificação referentes à exposição à humidade, considera-se a humidade relativa do ar em Portugal continental. De acordo com a Figura 3.15, os edifícios localizados nos distritos de Oeiras, Cascais e Amadora são os mais desfavoráveis da amostra.

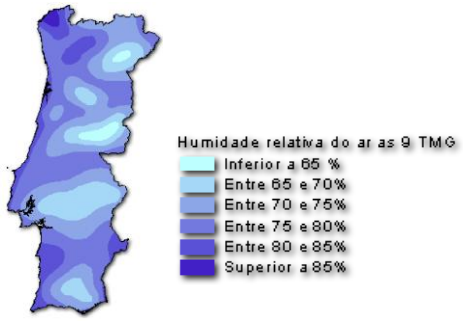


Figura 3.15 - Humidade relativa do ar em média às 9 T.M.G., em Portugal continental (período da série cronológica: 1931-1960) [IA, 1975]

Desta forma, as categorias adoptadas relativas ao parâmetro humidade foram as seguintes:

- corrente, para as situações de edifícios localizados em contexto urbano, em Lisboa, Odivelas e Loures;
- desfavorável, para edifícios situados na Amadora, em Oeiras e em Cascais.

Relativamente aos edifícios situados no distrito de Lisboa, distinguiram-se as situações de proximidade do rio das restantes, para verificar, posteriormente, se existe influência deste parâmetro. O critério adoptado para a análise deste parâmetro foi:

- corrente, para as situações de edifícios localizados a mais de 1 km da linha do rio;
- desfavorável, para as situações de edifícios localizados a menos de 1 km da linha do rio.

A Figura 3.16 apresenta as distribuições da amostra em função da exposição à humidade e, para os edifícios situados em Lisboa, da proximidade do rio. Verifica-se, assim, que o conjunto analisado se encontra uniformemente distribuído em função destes dois parâmetros.

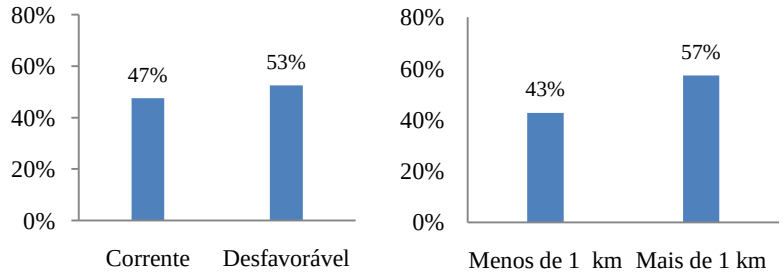


Figura 3.16 - Distribuição da amostra em função da exposição à humidade (esquerda) e em função da proximidade do rio (direita)

3.5.2.3 Acção vento / chuva

Os critérios adoptados na quantificação da incidência da chuva prendem-se com a altura dos edifícios e com o tipo de urbanização da zona em estudo. De acordo com Gaspar [2009], o quadrante Poente é o que tem maior probabilidade de ocorrência da combinação vento / chuva.

Os critérios para a definição da acção vento / chuva são:

- suave, para situações de edifícios de baixa altura (até 2 pisos), em contextos urbanos densos, protegidos por outras construções, pela topografia ou por vegetação do lado dos ventos dominantes (por exemplo, edifícios até 2 pisos no interior do bairro de Alvalade);

- moderada, para situações de edifícios de média altura, em contextos urbanos correntes não expostos aos ventos dominantes ou protegidos do lado dos ventos dominantes por outras construções, pela topografia ou por vegetação (por exemplo, edifícios até 4 pisos no Bairro Alto);

- severa, para situações de edifícios localizados em descampados ou em cruzamento de vias ou edifícios com altura superior a 4 pisos.

Uma análise da repartição dos casos de estudo em função da acção vento / chuva revela uma repartição mais ou menos homogénea dentro das três categorias consideradas, embora os edifícios com uma exposição à acção vento / chuva moderada sejam os que têm maior representatividade, tal como se ilustra na Figura 3.17.

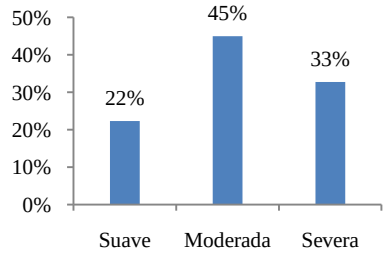


Figura 3.17 - Distribuição da amostra em função da acção vento / chuva

Desta forma, foram consideradas quatro categorias para análise deste parâmetro: as fachadas com orientações compreendidas entre 315˚ e 45˚ foram consideradas como orientadas a Norte, a Sul as

fachadas orientadas entre 135˚ e 225˚, a Este as fachadas orientadas entre 45˚ e 135˚ e a Oeste as fachadas orientadas entre 225˚ e 315˚. Esta classificação encontra-se representada na Figura 3.18.

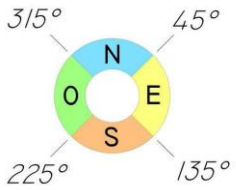


Figura 3.18 - Sistema de classificação da orientação solar das fachadas analisadas [Garrido, 2010]

Na Figura 3.19, apresenta-se a distribuição das fachadas analisadas em função das categorias definidas. Como se pode observar, a amostra encontra-se uniformemente distribuída entre os quadrantes Oeste e Este e entre os quadrantes Sul e Norte, sendo que, em geral, a amostra tem uma distribuição relativamente homogénea. No entanto, as orientações Este e Oeste são as que apresentam maior representatividade.

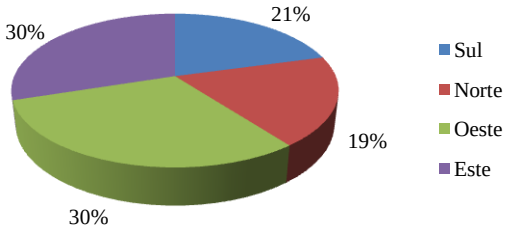


Figura 3.19 - Distribuição da amostra em função da exposição solar

3.5.2.4 Proximidade de fontes poluentes

As fontes poluentes consideradas no presente trabalho correspondem especialmente às emissões de óxidos de azoto e de monóxido de carbono, emitidas pelo tráfego viário

Desta forma, Gaspar [2009] considerou que, na ausência de informação quantitativa mais precisa, o efeito da poluição poderia estar relacionado com o grau hierárquico crescente das vias, sendo a degradação mais desfavorável em função da quantidade de tráfego.

Desta forma, como critério de análise, foram usadas as seguintes categorias:

- corrente, para situações de edifícios em meio urbano com tráfego reduzido a moderado (zonas residenciais fora dos eixos principais viários, por exemplo, o interior do bairro de Telheiras, Ajuda, Alfama ou Alvalade e a maioria dos edifícios inspeccionados em Cascais e Oeiras);

- desfavorável, para situações de edifícios junto ou próximos a vias urbanas principais (Avenida da República, Avenida do Brasil, Avenida Álvares Cabral, Eixo Norte Sul, entre outras).

A Figura 3.20 apresenta a distribuição do conjunto analisado, em função da proximidade de fontes poluentes, revelando que apenas cerca de um quinto da amostra corresponde a situações desfavoráveis.

Dentro das condições de exposição dos revestimentos, este parâmetro é o que apresenta maior heterogeneidade na sua distribuição.

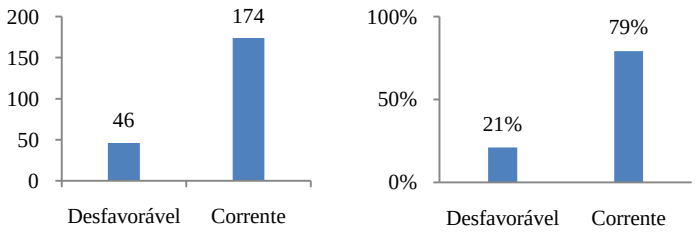


Figura 3.20 - Distribuição da amostra em função da proximidade de fontes poluentes, em número de casos (esquerda) e em percentagem de casos (direita)

3.5.3 Caracterização dos revestimentos inspeccionados

A caracterização dos revestimentos inspeccionados refere-se aos parâmetros referidos em 3.2.3. Na presente análise as referidas variáveis são classificadas em categorias, de forma a serem identificadas e tratadas como factores de degradação.

Os dados considerados relevantes na caracterização dos revestimentos e identificados na campanha visual são a idade, o tipo de produto de pintura aplicado, a sua textura, cor e brilho (Anexo III).

Caso, nas fontes consultadas (3.2.2), exista informação disponível, distinguem-se ainda as situações de pintura sobre reboco ou repintura sobre uma pintura já existente, para posterior verificação de influência deste parâmetro.

Como referido em 3.2.1, a idade dos revestimentos foi uma das principais condicionantes na selecção da amostra, de forma a obterem-se pontos nos gráficos que cubrissem a totalidade do intervalo. A justificação do espectro de idades considerado no presente estudo será feita no capítulo 4. A respectiva distribuição é apresentada na Figura 3.21, relativamente aos número de casos de estudo e às respectivas percentagens.

No que se refere ao tipo de produto (Figura 3.22), consideraram-se três grupos de produtos: as tintas lisas, as tintas texturadas e as membranas elásticas. As tintas lisas e as membranas elásticas representam, por si só, cerca de 80% da amostra, sendo as tintas texturadas as que têm menor representatividade.

Na Figura 3.22, apresenta-se ainda, dentro das tintas lisas, a distribuição de produtos de pintura analisados. As tintas de silicatos e de silicone representam apenas 7 e 2 casos de estudo, respectivamente. Desta forma, não apresentam validade estatística para posterior integração em modelos de degradação. A grande maioria das tintas lisas são lisas tradicionais, sendo que as lisas não tradicionais representam 27% da amostra. Apesar de representarem 24 casos de estudo, não existem registos da sua utilização (tintas de hidro-pliolite e de nanocompósitos - 2.3.4.2.5) anteriores a 2005, pelo que, por si só, também não têm validade estatística. Desta forma, optou-se por analisar as tintas lisas como um conjunto, não sendo possível fazer uma análise em função do tipo de ligante ou de características mais específicas.

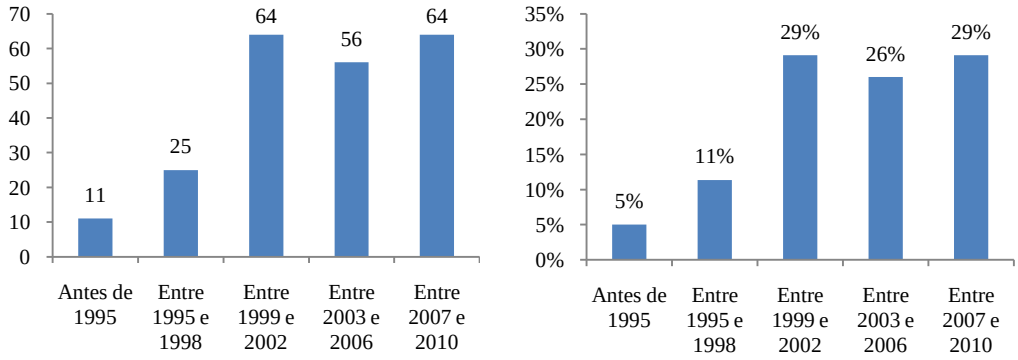


Figura 3.21 - Distribuição dos revestimentos inspeccionados em função da idade no que se refere ao número de casos (esquerda) e às respectivas percentagens (direita)

.

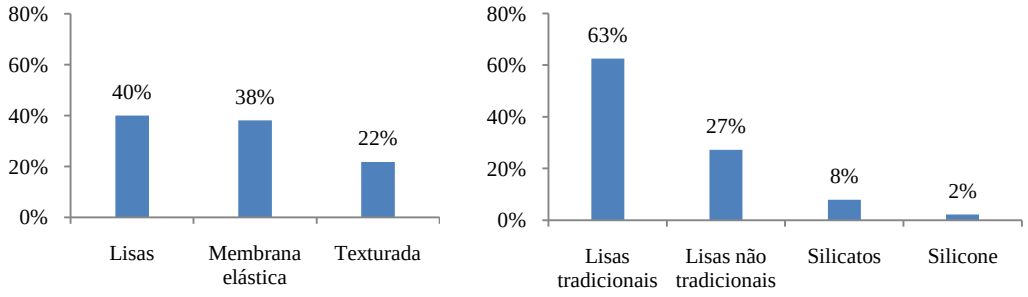


Figura 3.22 - Distribuição dos revestimentos em função do tipo de produto de pintura (esquerda) e distribuição dos produtos de pintura dentro das tintas lisas (direita)

A Figura 3.23 apresenta a distribuição da amostra em função do brilho dos revestimentos. A maioria das fachadas apresenta um aspecto mate, sendo que apenas 22% e 12%, correspondentes a 41 e 22 casos de estudo, apresentam um brilho acetinado e semi-mate, respectivamente.

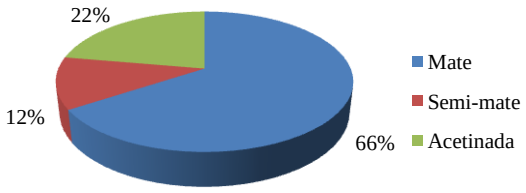


Figura 3.23 - Distribuição dos revestimentos em função do brilho

No que se refere à cor dos revestimentos, as categorias consideradas são função do coeficiente de absorção solar das superfícies analisadas (Tabela 3.15). Embora a cor não seja um dos factores mais relevantes a analisar, alguns autores sugerem que pode ter influência na durabilidade, como referido no capítulo 2.

Tabela 3.16 - Valor do coeficiente de absorção solar em função da cor dos revestimentos [adaptado de Matos, 2007, citando APICER, 2003]

Cor	Valor do coeficiente de absorção da radiação solar
Branco	0.2 a 0.3
Amarelo, cor-de-laranja, cor-de-rosa claro	0.3 a 0.5
Cor-de-rosa escuro, Verde claro, Azul claro	0.5 a 0.7
Castanho, Verde escuro, Azul escuro	0.7 a 0.9

Relativamente à amostra analisada (Figura 3.24), metade tem cores entre amarelo, cor-de-laranja e cor-de-rosa claro. A seguir, a cor mais representativa é o branco, representando 66 casos de estudo, correspondentes a 31% da amostra. Depois existem cores entre o cor-de-rosa escuro, o verde claro e o azul claro, que representam 14% do conjunto analisado. As cores escuras, como castanhos e azuis escuros, são pouco comuns na amostra, sendo representativas do baixo número de fachadas pintadas de cores escuras existentes em Lisboa.

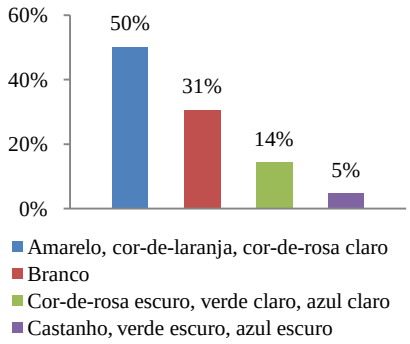


Figura 3.24 - Distribuição dos revestimentos em função da cor

Relativamente à textura, todas as tintas lisas têm acabamento liso e as tintas texturadas acabamento rugoso. As membranas elásticas podem ser lisas ou texturadas, sendo frequente utilizar-se uma tinta texturada como primário, antes de se aplicar a tinta flexível. Pela Figura 3.25, a amostra encontra-se bem distribuída relativamente a este parâmetro mas, mesmo assim, com maior representatividade de acabamento liso, correspondente a mais 28 casos de estudo que os revestimentos com acabamento rugoso.

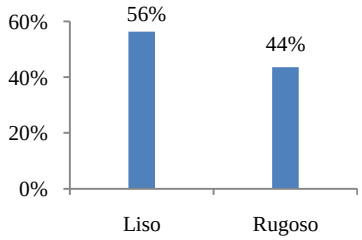


Figura 3.25 - Distribuição da amostra em função do tipo de acabamento

Por último, no contexto da caracterização dos revestimentos estudados, analisaram-se 45 fachadas no que se refere ao tipo de suporte, distinguindo-se os produtos aplicados directamente sobre o reboco e os casos de repintura, em que a tinta é aplicada sobre uma pintura já existente. A questão de compatibilidade e aderência ao suporte já foi abordada no capítulo 2 (2.4.3.4).

3.5.4 Caracterização das anomalias detectadas

Após o levantamento dos dados de campo, é possível caracterizar a amostra no que refere aos mecanismos de degradação presentes nos revestimentos inspeccionados. Esta caracterização assume uma importância considerável no âmbito do estudo da durabilidade de pinturas, permitindo compreender as principais anomalias que afectam os revestimentos e quais os seus níveis de severidade, de acordo com a classificação realizada no presente capítulo (3.4.2.2).

3.5.4.1 Frequência das anomalias consideradas

Dos 220 casos estudados, verificou-se que 84% apresentam anomalias e que 93% das fachadas sem anomalias visíveis têm menos de 2 anos. Os revestimentos por pintura apresentam assim uma forte incidência de anomalias sendo, como referido no capítulo 1, materiais com elevada susceptibilidade à degradação.

Na Figura 3.26, apresenta-se o número de anomalias, de cada tipo, detectadas durante a campanha visual. Na contagem efectuada, interessa referir que:

- anomalias dentro do mesmo grupo, que ocorram simultaneamente na mesma fachada são apenas contabilizadas uma vez; a título de exemplo, um revestimento que tenha sujidade superficial, manchas de origem biológica e alterações de cor e brilho, é contabilizado como tendo anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas;

- como corolário, cada anomalia só é contabilizada uma vez, independentemente de ocorrer várias vezes na mesma fachada; por exemplo, uma fachada que apresente um número elevado de manchas de origem biológica em áreas distintas da mesma apenas é contabilizada uma vez e não o número de vezes em que as manchas de origem biológica ocorrem no mesmo revestimento.

Os critérios de decisão obedecem, assim, à condição binária: tem anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas ou não tem anomalias deste tipo, independentemente da frequência de ocorrência e do número de anomalias distintas detectadas, dentro do mesmo grupo. As razões prendem-se com o facto de se distinguir, no presente trabalho, análises por grupo de anomalia ou por anomalia, como abordado mais à frente. Neste capítulo, não se pretende caracterizar a degradação geral dos revestimentos, mas apenas compreender quais os mecanismos de degradação com maior prevalência nos revestimentos e qual a percentagem de fachadas afectada por cada tipo e grupo de anomalia.

Na Figura 3.26, é também apresentada a incidência dos quatro grupos de anomalias consideradas, relativamente ao total de anomalias detectadas. A análise da figura revela a forte prevalência de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas (54%), representando a maioria das anomalias detectadas na campanha visual. As anomalias do tipo fissuração e perdas de aderência representam cerca de uma quinto e um quarto do total, respectivamente. Estes resultados indicam que a classificação adoptada abrange mecanismos de degradação com forte prevalência em pinturas. Por fim, as perdas de

coesão representam uma percentagem quase desprezável comparativamente com os restantes grupos de anomalias.

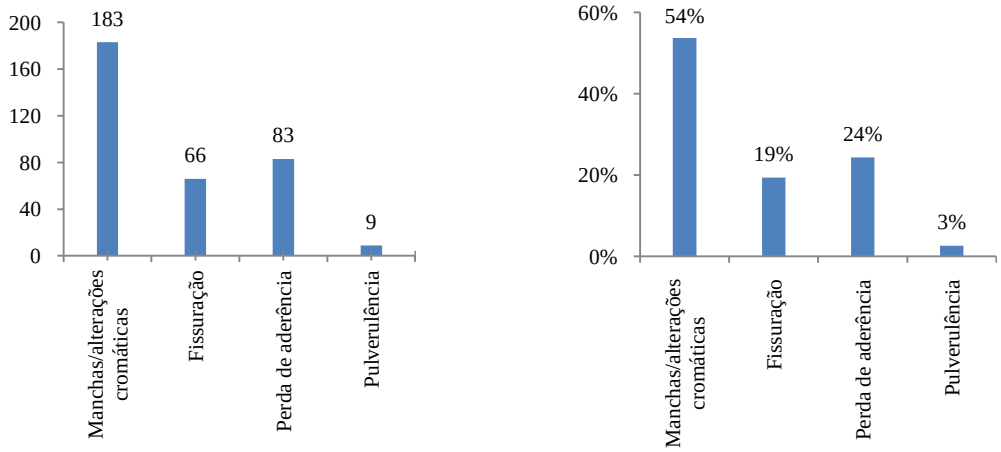


Figura 3.26 - Número de anomalias detectadas em cada grupo (esquerda) e frequência de cada grupo de anomalias no total de anomalias detectadas (direita)

Na Figura 3.27, é apresentada a mesma informação percentual mas em relação ao número de fachadas analisadas. Verifica-se assim que a grande maioria das fachadas (83%) apresenta manchas e alterações cromáticas, correspondendo ao que seria expectável por simples observação das envolventes verticais referentes ao parque edificado português. Outra conclusão retirada desta análise é de que a maioria das fachadas apresenta em média mais do que um tipo de anomalia.

Fazendo uma análise individual das anomalias registadas, permitindo uma compreensão mais detalhada de quais as anomalias que contribuem para a degradação observada, obtêm-se as distribuições apresentadas nas Figuras 3.28, 3.29 e 3.30. À semelhança da contagem anterior, cada anomalia só é contabilizada uma vez, independentemente de ocorrer mais do que uma vez na fachada.

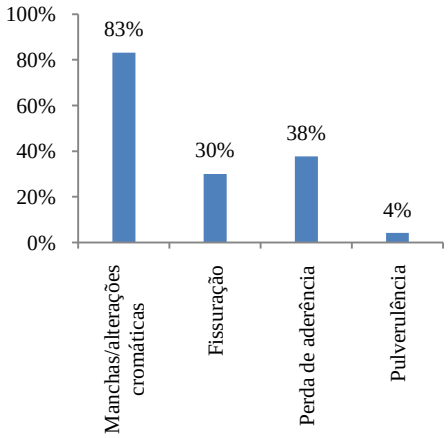


Figura 3.27 - Incidência de fachadas com cada um dos grupos de anomalias consideradas

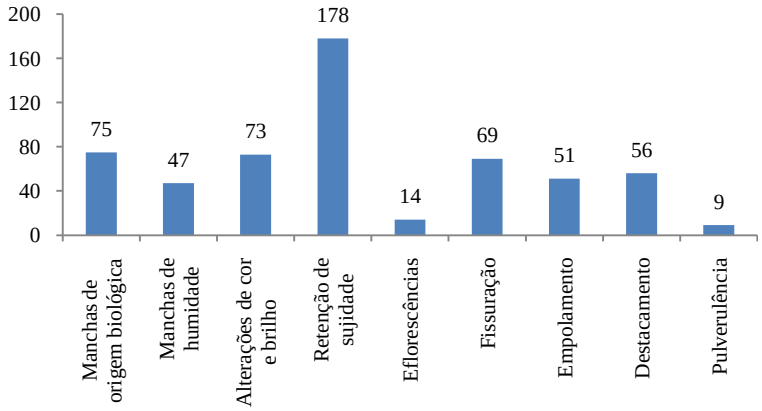


Figura 3.28 - Número de anomalias detectadas

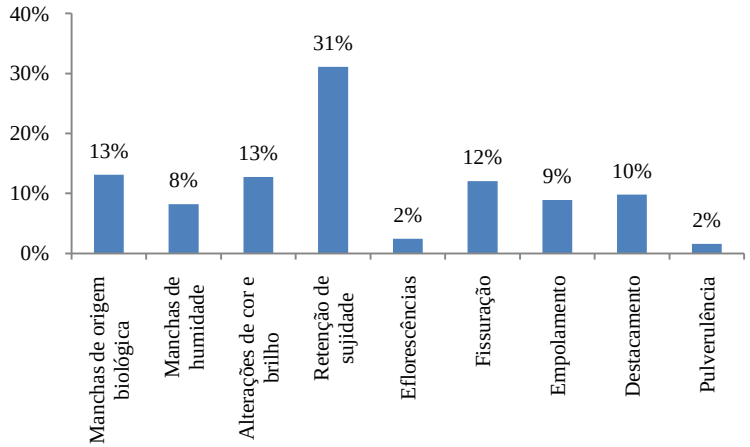


Figura 3.29 - Frequência de cada anomalia no total de anomalias detectadas

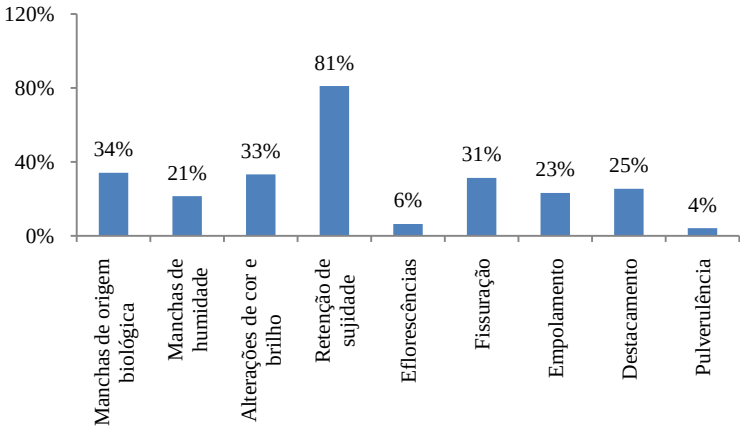


Figura 3.30 - Incidência de fachadas com cada uma das anomalias consideradas

Em termos de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, é possível constatar que a retenção de sujidade é a anomalia que se verificou o maior número de vezes (178 casos). Representa portanto cerca de um terço do total das anomalias detectadas, 50% das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas e ocorre em 81% das fachadas analisadas. Este dado encontra-se de acordo com o expectável visto que a sujidade uniforme é, segundo especialistas consultados oralmente, um indicador da idade da fachada, o que sugere a sua presença em praticamente todos os revestimentos analisados. Relativamente à sujidade localizada, verificou-se, durante o trabalho de campo, que esta ocorre predominantemente na periferia de

janelas (por exemplo, por baixo de peitoris ou varandas) e na parte superior das fachadas. Em seguida, as anomalias mais detectadas são as manchas de origem biológica e as alterações de cor e brilho. Relativamente às eflorescências, o número de casos na amostra estudada foi quase residual, tendo apenas sido detectadas em 9 casos de estudo.

Relativamente às anomalias do tipo perda de aderência, verifica-se uma distribuição uniforme entre destacamentos e empolamentos, tendo estes aproximadamente o mesmo número de casos (da ordem de 50). Cada uma destas anomalias representa cerca de 10% das anomalias detectadas (Figura 3.29) e ocorre em cerca de um quarto das fachadas analisadas (Figura 3.30), prefigurando uma ocorrência significativa destas anomalias.

Pela análise da Figura 3.30, podem distinguir-se quatro grupos distintos de anomalias consoante o número de fachadas afectadas:

- o primeiro, constituído por retenção de sujidade, caracteriza-se por atingir a maioria dos casos analisados;

- o segundo, constituído por manchas de origem biológica, alterações de cor e brilho e fissuração, caracteriza-se por uma percentagem de fachadas afectadas da ordem de 30%;

- o terceiro, constituído por manchas de humidade, empolamentos e destacamentos, caracteriza-se por uma percentagem de fachadas afectadas da ordem de 20%;

- o quarto grupo, constituído por eflorescências e pulverulência, caracteriza-se por uma percentagem de fachadas afectadas inferior a 10%.

À excepção dos casos extremos (sujidade por um lado e pulverulência e eflorescências por outro), todas as anomalias apresentam uma distribuição relativamente uniforme, variando no intervalo [21%; 34%].

3.5.4.2 Grau de severidade das anomalias

Além da frequência das anomalias analisadas, interessa analisar o nível de severidade dos mecanismos de degradação detectados. Numa análise à Figura 3.31, constata-se que a maioria das anomalias registadas corresponde a níveis ligeiros e moderados de deterioração (níveis 2 e 3), com percentagens de incidência de 33% e 30%, respectivamente. No que se refere ao nível 4 de degradação, correspondente a anomalias com degradação generalizada, a percentagem é mais elevada do que o que se poderia esperar, correspondendo a 20% das anomalias detectadas. A razão prende-se com os inúmeros casos de fachadas com perdas de aderência, que assumem níveis de degradação elevados, de acordo com a classificação adoptada no presente capítulo.

Na Figura 3.32, é analisado de que forma é que cada grupo de anomalias contribui para os níveis apresentados:

- ao nível 1, de acordo com a classificação adoptada em 3.4.2.2, apenas correspondem anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas e do tipo fissuração; verifica-se assim que as anomalias com maior incidência no nível 1 são as manchas e alterações cromáticas, seguidas das anomalias do tipo fissuração.

- dentro das anomalias de nível 2 e de nível 3, mantém-se a clara maioria de manchas e alterações cromáticas;

- relativamente ao nível 4, existe uma prevalência das anomalias do tipo perda de aderência, representando 62% das anomalias de nível 4 detectadas.

Desta forma, pode-se caracterizar genericamente o processo de degradação em pinturas: existe uma clara prevalência de manchas e alterações cromáticas de níveis ligeiros a moderados, sendo o nível 4 sobretudo marcado por perdas de aderência que, quando surgem, ditam geralmente o final da vida útil do elemento.

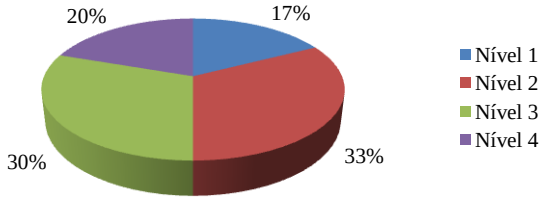


Figura 3.31 - Distribuição das anomalias detectadas pelo nível de degradação

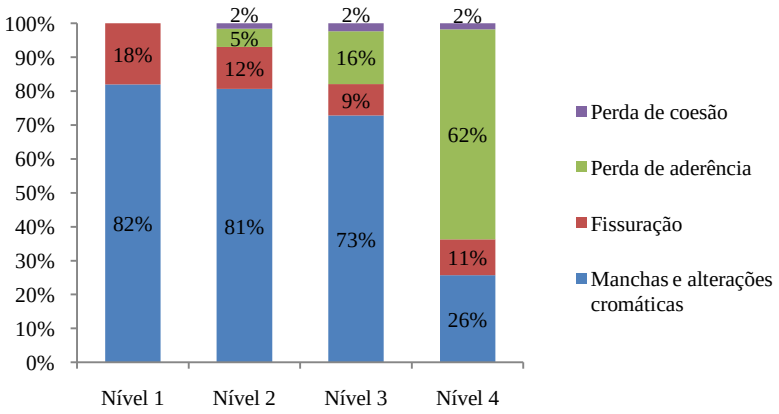


Figura 3.32 - Distribuição das anomalias por cada nível de degradação

Na Figura 3.33, apresenta-se a distribuição dos níveis de degradação por grupo de anomalias. Verifica-se que as manchas e alterações cromáticas, a fissuração e a pulverulência, têm maioritariamente nível de degradação 2. O nível 4 de degradação é o que se encontra em menor número, dentro dos referidos grupos. No que se refere à perda de aderência, a situação é a inversa: a maioria, correspondente a 65% das perdas de aderência detectadas, tem nível 4; 25% tem nível 3 e apenas 9% têm nível 2, sendo que não existe nível 1 para este tipo de anomalia.

A fissuração, apesar da prevalência de anomalias de nível 2, é a que apresenta a distribuição mais uniforme dentro dos diferente níveis de degradação, sendo as anomalias do tipo perda de aderência as que apresentam menor homogeneidade na distribuição, com a clara prevalência de anomalias de nível 4.

Desta forma, apesar das manchas e alterações cromáticas apresentarem uma distribuição uniforme entre os níveis 1, 2 e 3, apresentam um reduzido número de casos de nível 4, o que indica que por si só não determinam o final do desempenho dos revestimentos. A fissuração, como referido, apresenta uma distribuição também uniforme mas distingue-se das manchas por uma maior prevalência de anomalias de nível 4, podendo assim sugerir uma anomalia que tem uma evolução uniforme, ao contrário das perdas de aderência que surgem quase sempre no final da vida útil.

Os referidos resultados parecem apontar para uma relação entre anomalias e nível de degradação, existindo padrões típicos de severidade para cada grupo de anomalias: as alterações provocadas por manchas e alterações têm na sua grande maioria níveis de degradação ligeiros a moderados, as anomalias do tipo fissuração percorrem quase uniformemente todo a escala considerada, sendo as perdas de aderência maioritariamente de gravidade elevada. Esta conclusão é importante pois demonstra que a classificação dos níveis de degradação adoptada consegue traduzir a hierarquia crescente de gravidade entre as anomalias do tipo "manchas", "fissuração" e "perda de aderência" sugerida em 3.4.1.

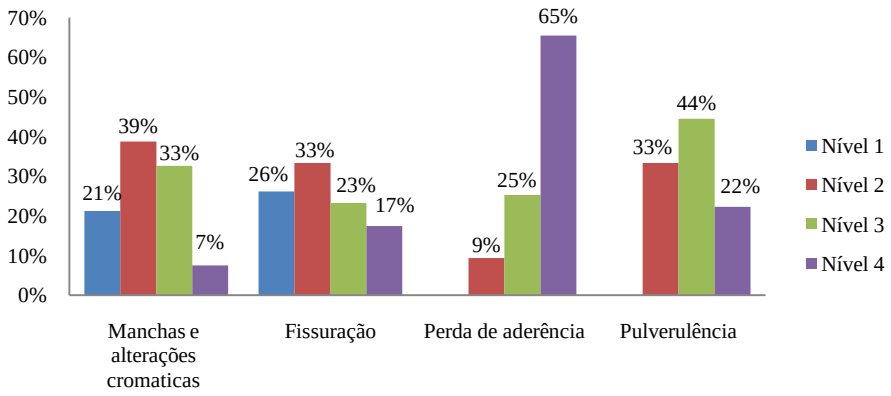


Figura 3.33 - Distribuição dos níveis de degradação para cada grupo de anomalias

Na Figura 3.34, realiza-se a mesma análise mas agora considerando apenas as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas. A razão prende-se com a extensa gama de anomalias dentro deste grupo, com distribuições distintas em termos de nível de degradação. .

As anomalias do tipo manchas de origem biológica, alterações de cor e brilho, retenção de sujidade e eflorescências apresentam, maioritariamente, nível 2. Relativamente às manchas de origem biológica, estas correspondem, maioritariamente, ao nível 4, o que poderá ser explicado pela intensidade da alteração característica deste tipo de anomalia, comparativamente às existentes no mesmo grupo.

As manchas de humidade, as alterações de cor e brilho, assim como a retenção de sujidade, são as anomalias que apresentam a distribuição mais uniforme dentro dos níveis de degradação considerados. As manchas de humidade e as eflorescências são as anomalias mais heterogeneamente distribuídas consoante

o nível de degradação, com clara prevalência de anomalias de nível 2 e com um número reduzido de casos de nível 1.

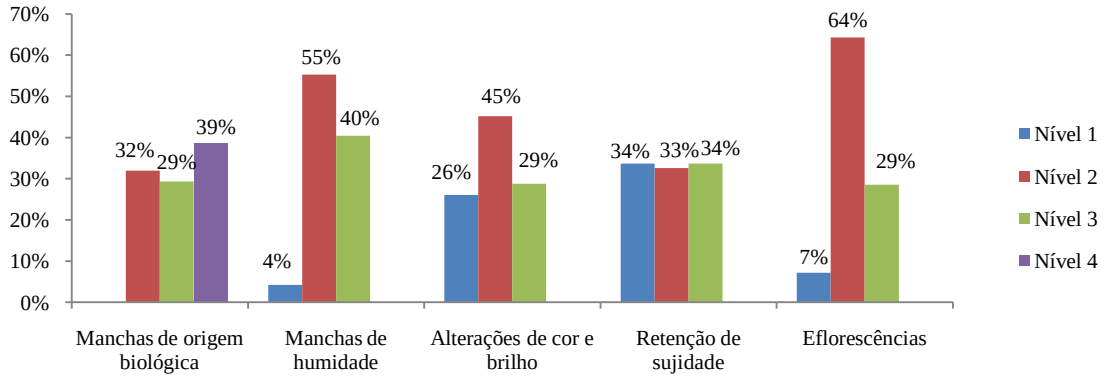


Figura 3.34 - Distribuição dos níveis de degradação para as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas

Seguindo a linha de análise anterior, parece existir uma hierarquia de gravidade entre as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas: as manchas de origem biológica têm geralmente níveis de degradação elevados, as manchas de humidade, as alterações de cor e brilho e as eflorescências apresentam maioritariamente níveis de degradação ligeiros, sendo que a retenção de sujidade se encontra uniformemente distribuída pelos diferentes níveis; tal facto encontra-se de acordo com o que sugerem diferentes autores relativamente a esta anomalia poder ser tratada como um indicador da idade do revestimento, reflectindo assim a distribuição uniforme de idades das pinturas analisadas

3.6 Conclusões

Neste capítulo, foi definida, passo a passo, a metodologia desenvolvida e aplicada no trabalho de campo, com vista a alcançar os objectivos propostos no presente trabalho.

Antes de se iniciar o trabalho de campo, os diferentes passos seguidos foram:

- definição dos factores de degradação condicionantes;
- pesquisa de fontes de informação e selecção da amostra;
- elaboração da ficha de inspecção;
- desenvolvimento de escalas de degradação, para definição dos níveis de severidade das anomalias.

A recolha da informação necessária à elaboração dos modelos de degradação, referente aos casos analisados, divide-se em três etapas distintas e espaçadas temporalmente, nomeadamente:

- a recolha prévia de informação referente aos edifícios seleccionados, obtida antes da inspecção visual;

- a recolha de dados de campo, durante a campanha visual;

- a recolha de dados, resultante do processamento da informação recolhida em campo, obtida posteriormente à visita ao local.

Terminado o trabalho de campo, recolhida e registada toda a informação necessária, foi, então, caracterizada a amostra no que se refere às zonas e às construções estudadas, às características dos revestimentos inspeccionados e às anomalias detectadas.

A caracterização da amostra relativamente às zonas analisadas revelou uma prevalência de edifícios de habitação, de estrutura compacta e de baixa altura, situados no concelho de Lisboa. Relativamente às zonas estudadas, os resultados obtidos permitem concluir que a amostra se encontra bem distribuída em função da proximidade do mar, da exposição à humidade, da acção vento / chuva e da orientação solar. Ainda neste contexto, a caracterização dos revestimentos inspeccionados mostrou uma distribuição uniforme relativamente à idade dos revestimentos, ao tipo de produto de pintura e à textura das películas. Estes aspectos são favoráveis à posterior análise de dados pois facilitam a análise da influência dos referidos parâmetros, conduzindo a resultados com maior fiabilidade (capítulo 4).

A análise da amostra no que se refere aos mecanismos de degradação detectados revelou a forte prevalência das anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, chegando a um resultado de 83% para as fachadas afectadas por este tipo de anomalias, representando 54% do total de anomalias detectadas na campanha visual. Um estudo mais detalhado permite concluir que a retenção de sujidade é a anomalia com maior incidência - afectando 81% das fachadas analisadas, o que representa 50% do total de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas e 31% do total de anomalias detectadas - seguida de manchas de origem biológica, fissuração, alterações de cor e brilho e destacamentos. As eflorescências e a pulverulência são as anomalias com menor número de casos associados.

Relativamente aos níveis de degradação, existe a prevalência do nível 2 correspondente ao patamar de degradação ligeira. A análise de resultados permite concluir que as escalas de degradação definidas são capazes de traduzir a hierarquia de gravidade crescente entre os diferentes grupos de anomalias, sendo que maioritariamente as manchas apresentam níveis ligeiros a moderados de deterioração e as perdas de aderência apresentam níveis elevados.

A presente análise entra em conta com o número de anomalias detectadas e o respectivo nível de degradação. Até ao momento, não foi feita nenhuma referência à extensão dos mecanismos de degradação que, como será demonstrado no capítulo 4, consiste num parâmetro fundamental para a caracterização geral do estado de degradação que, juntamente com a gravidade ou nível, permite modelar a realidade física.

Capítulo 4

Modelos de degradação de revestimentos por pintura

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta a metodologia de análise de dados e desenvolve um modelo para a estimativa da vida útil, baseado no conhecimento das características de revestimentos por pintura (capítulo 2) e nos dados recolhidos no trabalho de campo, referentes a 220 casos de estudo (capítulo 3).

Os resultados apresentados devem ser interpretados como uma ilustração do método desenvolvido, adaptado ao tema da durabilidade de pinturas de fachadas. Nesta perspectiva, todas as curvas, equações e valores propostos são admitidos sob reserva, até posterior validação estatística decorrente de amostras mais representativas, através de recolhas extensivas de deterioração de pinturas de fachadas em condições reais de utilização [Gaspar, 2002].

Por último, refere-se assim que os modelos obtidos devem ser entendidos como o primeiro passo para a investigação de modelos analíticos, que cruzem efectivamente os dados de campo com o conhecimento teórico sustentado pela investigação laboratorial.

4.2 Objectivos e metodologia adoptada

O objectivo do presente capítulo é a proposta de um modelo de previsão de vida útil de revestimentos por pintura - com vista à obtenção de estimativas da vida útil - baseado no método gráfico e ajustado ao parque edificado de Lisboa, decorrente de exposição em condições de serviço.

Pretende-se, assim, explorar e avaliar a capacidade da metodologia desenvolvida para fornecer ferramentas analíticas que permitam a modelação de desempenho dos elementos considerados, atendendo à influência de factores de degradação condicionantes no comportamento e na durabilidade de pinturas de fachadas.

A linha de investigação, desenvolvida e aplicada, consiste em converter os dados recolhidos no trabalho de campo, através de inspecções visuais, em modelos numéricos que expressem a deterioração dos elementos considerados. Estes consistem em modelos de degradação, materializados através de gráficos de perda de desempenho ao longo do tempo que definem a velocidade de deterioração de pinturas.

Posteriormente, realiza-se o estudo de influência dos diversos factores de degradação considerados relevantes na durabilidade dos revestimentos por pintura, procurando-se evidenciar comportamentos

diferenciados em função destes e, assim, perceber de que forma é que uma dada variável afecta a vida útil de pinturas de fachadas de edifícios.

Propõe-se também um modelo de regressão múltipla linear que pretende estabelecer uma expressão de cálculo capaz de traduzir a relação entre a degradação de pinturas e diversos factores de degradação considerados condicionantes. O principal objectivo deste modelo é estabelecer uma relação hierárquica entre as diferentes variáveis explicativas da deterioração em pinturas.

Por último, identificados os níveis mínimos de aceitação de desempenho e definidos os critérios que ditam o fim da vida útil de um revestimento por pintura, pretende-se obter estimativas da vida útil de referência, com base no método gráfico e no modelo de regressão múltipla linear.

As etapas a seguir descritas, onde se definem, passo a passo, os principais aspectos desenvolvidos, visam alcançar os objectivos acima propostos:

- combinação da informação relativa às anomalias detectadas na campanha visual num único indicador que traduza o nível global de degradação do elemento considerado;

- definição do nível mínimo de aceitação para revestimentos por pintura de fachadas;

- aplicação do método gráfico e elaboração de modelos de degradação de revestimentos por pintura, considerando a influência dos diversos factores de degradação, descritos em 3.2.3;

- desenvolvimento de um modelo de regressão múltipla linear e definição da sua expressão de cálculo;

- identificação de vidas úteis de referência referentes aos dois modelos obtidos (regressão simples e múltipla).

4.3 Influência de alguns parâmetros nas curvas de degradação

De acordo com Flores e Brito [2003c], a durabilidade pode ser representada por diversos modelos de degradação que, para representarem com fiabilidade o comportamento do elemento ao longo do tempo, devem ser baseados na análise dos mecanismos de todos os agentes que interferem na degradação.

Neste tipo de modelação, considera-se a degradação não apenas como a deterioração do material, mas como uma perda da sua capacidade de responder às exigências, em função dos agentes ou mecanismos de deterioração. A curva de degradação corresponde, assim, a uma função que representa graficamente a perda de desempenho ao longo do tempo.

No âmbito do presente trabalho, não se realiza a avaliação de desempenho por via de ensaios, que permitam identificar o cumprimento dos critérios de aceitação, tal como o têm feito diversos autores [Kus e Kalmar, 2002], [Daniotti e Iacono, 2005], [Flores et al., 2006a, 2006b], [Daniotti e Paolini, 2008]. Considera-se, em alternativa, que o desempenho diminui com a degradação do material [Kus et al., 2004]

e avalia-se indirectamente a perda de desempenho em função do aumento da deterioração. Desta forma, considera-se, como corolário, que a degradação é o inverso do desempenho e que os níveis máximos de degradação correspondem a níveis mínimos de desempenho.

4.3.1 Factores de degradação

De acordo com Shohet et al. [1999], destacam-se quatro padrões de degradação distintos, consoante os factores de degradação a que estão sujeitos os revestimentos (Figura 4.1). Apesar de estes já terem sido, exaustivamente, identificados e apresentados em sucessivos trabalhos ([Gaspar, 2002], [Flores e Brito, 2003c], [Gaspar e Brito, 2005a], [Silva, 2009], [Gaspar, 2009]), pretende-se aqui fazer apenas uma breve descrição com vista a identificar a influência dos diversos agentes de degradação no andamento geral das curvas de deterioração, destacando-se os seguintes padrões de deterioração:

- evolução linear: corresponde normalmente às acções de agentes atmosféricos permanentes, como a incidência de raios ultravioleta e do vento; nestes casos, verifica-se uma perda constante da capacidade do material responder às exigências de serviço, ao longo do tempo;

- curva côncava: correspondente a acções de deterioração de rápido desenvolvimento inicial, tais como a deterioração pela acção de microrganismos ou pela escorrência de águas;

- curva convexa: correspondente a fenómenos físicos e químicos, de acção inicialmente lenta, mas cujos efeitos se fazem sentir cumulativamente; nestes casos, quanto mais degradado está o elemento em determinado momento, mais hipóteses tem de se degradar ainda mais e a uma maior velocidade e, por outro lado, quanto mais tempo de vida tem o revestimento considerado, maior probabilidade tem de apresentar uma falha considerada crítica;

- curva em "S": correspondente a situações que se manifestam muito cedo, que aparentemente se estabilizam, mas que na prática continuam activos ou criam condições para a ocorrência de uma deterioração mais profunda e de rápido desenvolvimento, num ponto futuro da vida útil do elemento.

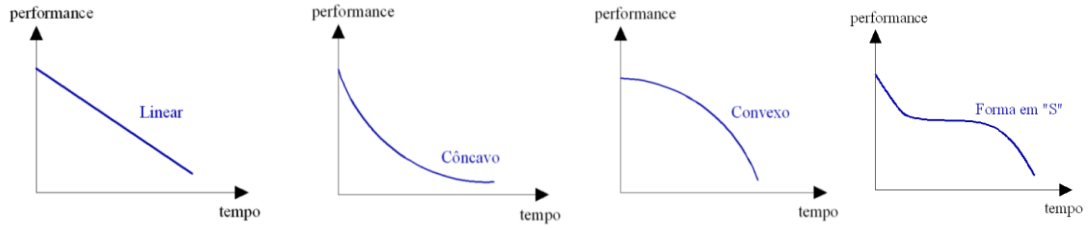


Figura 4.1 - Curvas de degradação correspondentes aos padrões de degradação [Shohet et al., 1999]

Gaspar [2002] considera ainda um quinto padrão de degradação, associado a fenómenos discretos (Figura 4.2) que, de acordo com referido autor, podem ocorrer a qualquer momento da vida útil do material, expressos numa função descontínua, por patamares de degradação de forma espontânea e aleatória. As acções acidentais e de vandalismo são exemplos de agentes de degradação associados a fenómenos discretos. Apesar de não serem previsíveis, alguns autores salientam a importância da identificação do intervalo de ocorrência entre cada uma destas manifestações.

4.3.2 Mecanismos de degradação

Em pinturas de fachadas, a perda de desempenho resulta, na maioria dos casos, da sobreposição de um ou mais mecanismos de degradação - cada um com uma curva de degradação teórica própria - não como um processo meramente aditivo de efeitos, mas como um sistema com entropia, de tal modo que uma determinada acção afecta as outras e vice-versa [Gaspar, 2009].

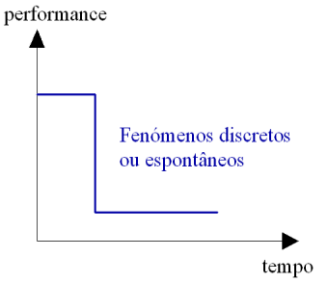


Figura 4.2 - Padrão de degradação correspondente aos fenómenos discretos [Gaspar, 2002]

Desta forma, as curvas de deterioração dos materiais podem resultar da combinação de mais do que um padrão de deterioração, sendo que Gaspar [2009] considera que uma curva de deterioração em "S" é a resultante de uma sobreposição de curvas do tipo côncavo e convexo. No entanto, de acordo com o autor, existem determinados factores, como são exemplo os factores de projecto, em que a respectiva degradação não pode ser expressa por uma determinada curva de degradação, mas que podem influenciar a durabilidade do elemento. Relativamente a pinturas, a incompatibilidade química de constituintes na formação da película poderá estar na origem do aparecimento de crateras [Rodrigues et al., 2006], fenómeno não modelável mas que influencia o seu desempenho.

De facto, de acordo com Robertsen [1999] e Pedro et al. [2002], as anomalias presentes nos revestimentos dividem-se em 4 grupos distintos:

- as congénitas, que têm origem na fase de projecto e que se devem essencialmente ao desrespeito pelas normas técnicas e a falhas de concepção do revestimento;

- as construtivas, relacionadas com a fase de execução; devem-se a mão de obra inadequada, a materiais mal formulados ou a erros de execução do revestimento;

- as adquiridas, que ocorrem durante a fase de utilização do revestimento devido à exposição ao meio envolvente;

- as acidentais, decorrentes de uma solicitação inesperada.

Robertsen [1999] acrescenta ainda que a perda de desempenho de elementos da construção resulta da soma dos diferentes tipos de anomalias referidas, tendo associado a cada uma delas uma probabilidade de ocorrência (Figura 4.3).

De acordo com a Figura 3.3, a probabilidade de ocorrência de anomalias com origem em deficiências de projecto e de execução diminui, gradualmente, ao longo da vida útil do revestimento. No âmbito do presente trabalho, tendo-se procedido a uma avaliação visual da degradação, estas anomalias prematuras

foram consideradas no levantamento realizado, podendo ser responsáveis por níveis de degradação superiores aos expectáveis, nos primeiros anos de vida útil dos revestimentos.

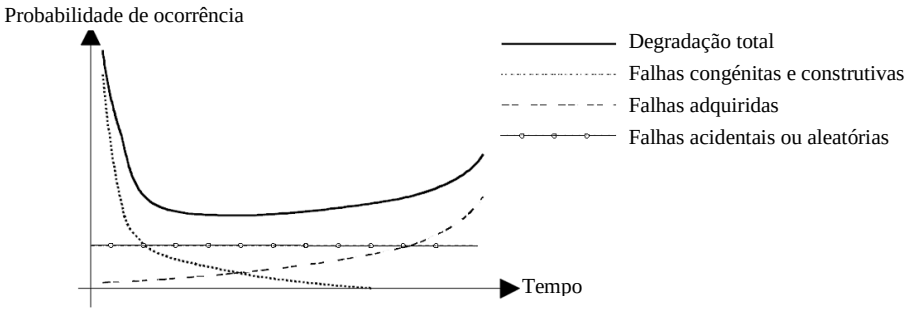


Figura 4.3 - Probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de anomalia em função da idade [adaptado de Robertsen, 1999]

No que se refere às anomalias provenientes de acontecimentos aleatórios ou acidentais, como é o caso de *graff*iti ou manchas de humidade provocadas pela rotura de tubos de queda, não são passíveis de modelação já que ocorrem com igual probabilidade, independentemente da idade do revestimento. Como referido no capítulo 3, estas anomalias não foram tidas em conta nos modelos de degradação, tendo-se apenas procedido ao seu registo. No caso de *graffiti*, que ocorrem com alguma frequência em fachadas, apresenta-se na Figura 4.4 a sua frequência de ocorrência em função da idade, onde se verifica efectivamente o seu carácter aleatório.

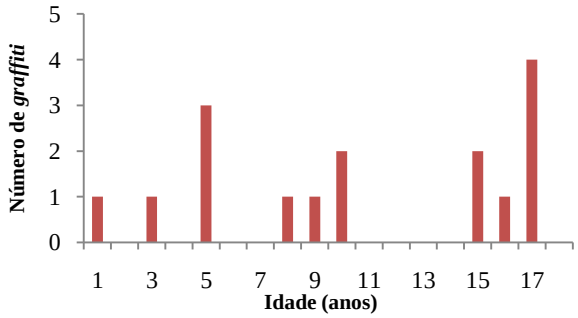


Figura 4.4 - Frequência de ocorrência de *graffiti* consoante a idade do revestimento

Finalmente, os mecanismos de degradação resultantes da interacção entre o material e as condições de exposição têm tanto maior probabilidade de ocorrer quanto mais avançada for a idade do revestimento. Na presente investigação, estas anomalias são as que melhor representam a evolução natural dos revestimentos em função do tempo, em condições normais de projecto, execução e utilização.

4.3.3 Espectro de idades

Estudada a influência dos diferentes agentes e mecanismos de degradação nos resultados obtidos, pretende-se analisar de que forma é que o intervalo de idades escolhido condiciona as curvas de degradação. A razão prende-se com o facto de existirem investigações, referentes ao tema da vida útil de pinturas de fachadas, que consideram espectros de idades consideravelmente superiores ao analisado no presente trabalho. A título de exemplo, o trabalho de Garrido [2010] analisa a área destacada de pinturas em função da idade, tendo considerado revestimentos aplicados até 1945 e estudado fachadas com,

praticamente, 100% de área destacada. Nestes casos, além da deterioração elevada das pinturas, existe degradação do próprio reboco.

De facto, existem inúmeros revestimentos por pintura no parque edificado de Lisboa, com idades avançadas e num estado de degradação generalizado. Esta situação deve-se à falta de manutenção em edifícios, que leva a elevados estados de degradação, obrigando à tomada de medidas de intervenção mais profundas, pertencentes ao domínio da reabilitação. No entanto, este trabalho não pretende proceder a uma caracterização geral do estado de conservação de fachadas na cidade de Lisboa.

A presente investigação insere-se no âmbito da vida útil de revestimentos de edifícios correntes, em condições normais de utilização e manutenção; interessa, assim, avaliar a degradação em revestimentos que se encontrem acima dos níveis mínimos exigidos, de forma a serem empreendidas acções de manutenção periódicas, com objectivo de os revestimentos serem substituídos ou reparados antes de atingirem patamares elevados de deterioração. Uma vez excedidos os níveis mínimos aceitáveis, considera-se que o revestimento atingiu o fim da sua vida útil.

Pelas razões referidas, optou-se por, como mencionado no capítulo anterior, analisar um intervalo de idades de 18 anos, sendo que, a partir de 12 anos, são inúmeros os revestimentos que deixam de responder às exigências que lhe são requeridas, tanto em termos de qualidade estética, como de protecção do suporte. O critério adoptado permite a avaliação de um maior número de casos, num intervalo de idades não muito extenso, obtendo-se, desta forma, um maior número de pontos em cada idade, com aumento da fiabilidade do modelo.

4.4 Estado limite de vida útil de revestimentos por pintura

Por vida útil ou período de serviço, entende-se o intervalo de tempo durante o qual as propriedades do edifício ou parte dele atingem ou excedem os níveis mínimos aceitáveis para o seu funcionamento, numa situação de manutenção corrente [ISO 15686-1].

De acordo com Gaspar [2009], o fim da vida útil é marcado pela manifestação de uma ou mais falhas - de ordem intrínseca ao elemento, normativa ou subjectiva - que conduzem à ausência de resposta às exigências ou expectativas que se lhe colocam, representando o limiar crítico a partir do qual se considera ser necessário substituir o elemento em causa.

Desta forma, os critérios que ditam o fim da vida útil dos revestimentos devem ser estabelecidos com base na definição de níveis mínimos de desempenho. As exigências requeridas para os revestimentos por pintura já foram apresentadas em 2.4.2. No modelo proposto, não se distingue qual dos critérios de desempenho deixa de ser cumprido ao longo do processo de degradação. No entanto, em teoria, seria possível isolar diferentes curvas de degradação associadas, por exemplo, à perda de estanqueidade do material, à deterioração da qualidade visual da superfície ou até relacionadas com o aumento dos custos de intervenção para resolução do problema [Gaspar, 2009].

Para ultrapassar esta limitação, neste trabalho propõe-se, tal como sugerem diversos autores ([Flourentzou et al., 1999], [Shohet et al., 2003], [Gaspar, 2002], [Gaspar, 2009)], que a análise da degradação seja

realizada em termos de critérios de aceitação, através da definição de patamares de mínimos de desempenho - representados através de linhas horizontais - passíveis de ser utilizados como referência para aceitação ou não de pinturas em serviço.

Na Figura 4.5, apresenta-se uma curva de degradação linear, com vista à representação do método de previsão da vida útil de referência através da definição de um nível mínimo de aceitação. Shohet et al. [1999, 2003] consideram ainda bandas de variação nas curvas, correspondentes aos limites inferiores e superiores de degradação. A vida útil esperada é, assim, obtida por intercepção da curva de degradação com a linha horizontal, correspondente ao nível mínimo de desempenho.

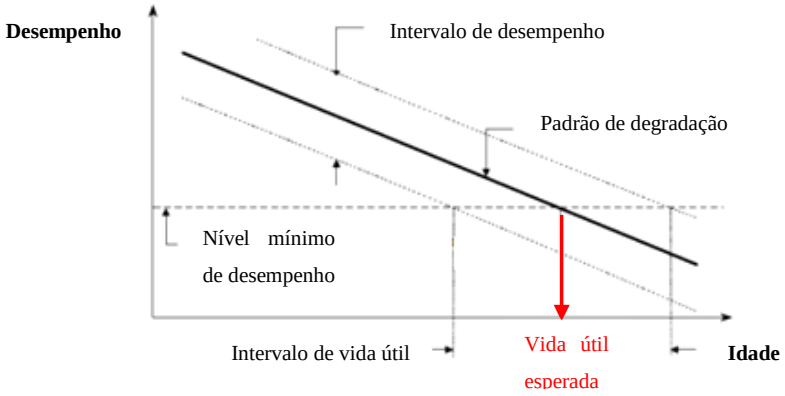


Figura 4.5 - Determinação da vida útil esperada através da definição de um nível mínimo de aceitação [adaptado de Shohet et al., 2003]

De acordo com Gaspar [2009] e Garrido [2010], a noção de nível mínimo de desempenho é um conceito relativo, que varia no espaço e no tempo devida à apreciação subjectiva dos decisores ou por razões relacionadas com a evolução das exigências normativas na construção, referentes, por exemplo, à qualidade dos produtos ou a questões ambientais. Numa fase inicial, a deterioração pode não ser perceptível mas, quando as anomalias se tornam notadas ou evidentes, inicia-se um processo de decisão complexo que equilibra a necessidade de intervir com questões de custo, oportunidade e dificuldade de reparação [Gaspar e Brito, 2008c]. Neste contexto, o nível mínimo de desempenho pode corresponder a diferentes níveis de aceitação pelos proprietários ou pelos utentes, padecendo assim de alguma subjectividade inerente. Pelo referido, Gaspar [2009] afirma que, mais do que definir um nível mínimo de desempenho, interessa identificarem-se padrões associados aos critérios de decisão de intervir em fachadas, com base no desempenho global destas.

A vantagem deste método consiste em se poderem adoptar diferentes critérios de aceitação do revestimento, de acordo com vários perfis de análise. Em cada situação, o decisor deverá identificar quais os critérios que pretende privilegiar, ajustar o patamar ao nível de exigência respectivo - que poderá ser superior ou inferior ao considerado - e obter o período de vida remanescente para o caso estudado. Assim, a definição de níveis de exigência pouco elevados corresponde à aceitação de níveis de desempenho mais baixos, associados a um maior tempo de vida útil.

No presente trabalho, é seguido o mesmo critério do que Gaspar [2002], Bordalo [2008] e Silva [2009], considerando que o nível mínimo de desempenho corresponde ao nível 3 de degradação, de forma a ilustrar o método proposto. Considera-se assim que, a partir deste limite, os revestimentos atingiram o fim

da vida útil, não se encontrando aptos para desempenhar a função para a qual foram concebidos, sendo necessário proceder a uma reparação generalizada, com vista a responder às exigências requeridas.

4.5 Proposta de modelo de quantificação da condição de fachadas pintadas

Os métodos de quantificação do nível global de degradação em fachadas, actualmente existentes, são os a seguir enumerados:

- a proposta do Instituto de Tecnologia de Israel [Shohet et al., 2002], [Shohet et Paciuk, 2004, 2006];
- a metodologia desenvolvida na Universidade Nacional de Singapura [Chew e Tan, 2004], [Chew, 2005];
- o modelo desenvolvido no Instituto Superior Técnico [Gaspar, 2002], [Gaspar, 2009], [Paulo, 2010].

No presente trabalho, aplicaram-se os modelos de quantificação da condição de fachadas, desenvolvidos por Gaspar [2002] e Gaspar [2009]. Pretende-se, assim, avaliar e comparar a sua capacidade para fornecer resultados que permitam a modelação da vida útil de pinturas de fachadas.

Interessa referir que, em qualquer dos referidos modelos de quantificação, não foi tida em conta a importância relativa de diferentes zonas de ocorrência de anomalias numa mesma fachada, podendo apresentar-se este factor como uma limitação das propostas desenvolvidas.

4.5.1 Modelo de Gaspar [2002]

O modelo desenvolvido por Gaspar [2002] surge da necessidade de traduzir num índice numérico o estado de conservação de cada fachada, apresentando-se como um modelo simples e de fácil aplicação. O Nível Global de Degradação (NGD) entra apenas em conta com o nível de degradação de cada anomalia e com o número de anomalias registadas, através da seguinte expressão:

$$NGD = \frac{\sum_{i=1}^{4}(n_i \cdot k_i)}{\sum_{i=1}^{4}(n_i)} = \frac{\left(n_1 \cdot k_1 + n_2 \cdot k_2 + n_3 \cdot k_3 + n_4 \cdot k_4\right)}{\left(n_1 + n_2 + n_3 + n_4\right)} \qquad (4.1)$$

em que,

NGD - nível de degradação global da fachada;

n_i - número de anomalias de nível i;

k_i - factor multiplicativo referente ao nível i.

O factor multiplicativo, referente a cada nível de degradação, é apresentado na Tabela 4.1, adoptando-se assim uma relação linear entre nível de degradação e factor multiplicativo.

Sendo a informação processada através de uma média ponderada da degradação registada em função do número de anomalias detectadas, o resultado é sempre obtido na forma de um valor associado aos patamares de degradação, sendo o significado físico destes patamares o mesmo dos níveis definidos no capítulo 3 (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Relação entre o nível de degradação e o factor multiplicativo (k)

Nível de degradação ou condição	Factor multiplicativo (k)
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4

Tabela 4.2 - Significado físico de cada nível global de degradação

NGD	Patamar de degradação	Degradação
[0.00, 0.49]	0	Sem degradação visível
[0.50, 1.49]	1	Bom estado
[1.50, 2.49]	2	Degradação ligeira
[2.50, 3.49]	3	Degradação moderada
[3.50, 4.00]	4	Degradação generalizada

Este modelo converte dados de natureza discreta, isto é, informação referente à condição de partes da fachada sob a forma de patamares, num resultado de natureza linear, passível de integração em metodologias de previsão de vida útil do elemento estudado.

Apesar das vantagens relacionadas com a simplicidade do método e a sua facilidade de compreensão, este apresenta igualmente algumas limitações, sendo estas de natureza intrínseca ao próprio modelo, resultando em incoerências no que respeita à caracterização da degradação:

- inexistência de situações intermédias entre o nível 0 e o nível 1 - numa fachada em que não seja detectada qualquer anomalia (condição 0), o valor do NGD é igual a zero; contudo, caso se detecte apenas uma anomalia de condição 1 (isto é, o nível de degradação imediatamente após a condição 0), o valor do NGD passa para 1; desta forma, o NGD nunca assume valores pertencentes ao intervalo]0.00, 1.00[;

- incoerência no caso de existir apenas uma anomalia - no caso de uma fachada com apenas uma anomalia de condição superior a 0, o NGD assume o valor do nível de degradação de essa anomalia; a título de exemplo, num revestimento que apresente sujidade superficial de nível 3, num só zona da fachada, o NGD assume um valor de 3;

- insensibilidade a situações totalmente distintas de degradação - comparando uma fachada com uma anomalia de condição superior a 0 e uma fachada com diversas anomalias do mesmo nível, de

condição superior a 0, o NGD assume o mesmo valor; por exemplo, num revestimento que, apresente uma mancha de sujidade de nível 2, o NGD assume o valor de 2, sendo que, num revestimento que apresente a mesma mancha de sujidade, mas ainda diversas manchas de origem biológica, eflorescências e pulverulência, todas de nível 2, o NGD assume igualmente o valor de 2, apesar de o revestimento se encontrar muito mais degradado do que no primeiro caso;

- diminuição do nível de degradação global com o aumento do número de anomalias - em alguns casos, o valor do NGD diminui à medida que se aumenta o número de anomalias; por exemplo, uma fachada que apresente uma anomalia de nível 1 e outra de nível 2 (NGD = 1,5) tem um nível de degradação, de acordo com o presente método, superior a uma fachada com três anomalias de nível 1 e uma anomalia de nível 2;

- não contabilização da área da fachada - a definição dos níveis de degradação das anomalias realizada no capítulo anterior tem apenas em conta a gravidade dos mecanismos de degradação detectados, não considerando as áreas afectadas; assim, dois revestimento que apresentem as mesmas anomalias, com igual condição, independentemente da área afectada, têm o mesmo valor do NGD; a título de exemplo, um revestimento que apresente sujidade superficial de nível 1 em toda a área da fachada e alterações de cor e brilho de nível 2 em 50% do revestimento, tem, de acordo com este método, o mesmo NGD do que um revestimento que apresente sujidade superficial de nível 1 em 1% da fachada e alterações de cor e brilho em 0.05% da sua área;

- o nível de degradação global não atinge o valor de 3 (limite de desempenho) em situações de degradação avançada - no caso de um revestimento que apresente 50% de sujidade superficial de nível 1 e 50% de área destacada de nível 4, assume um NGD igual a 2,5; de facto, sendo uma média ponderada, a existência de uma anomalia de nível 1 diminui o peso das restantes anomalias com níveis de degradação superiores.

Todos os exemplos referidos, relativos à limitação do modelo, são casos frequentes em revestimentos por pintura. Desta forma, é expectável que o método apresentado não seja o mais adequado para exprimir a degradação de pinturas de fachadas, em condições de serviço.

Com o objectivo de verificar a sua adequabilidade, realizou-se a análise dos resultados, referentes aos 220 casos de estudo, apresentada na Figura 4.6. A determinação da curva de degradação fez-se através de métodos de regressão, a partir da nuvem de pontos dispersos obtida, para um expressão do tipo polinomial de quinto grau, por ser a que apresenta um maior coeficiente de correlação entre as variáveis do modelo.

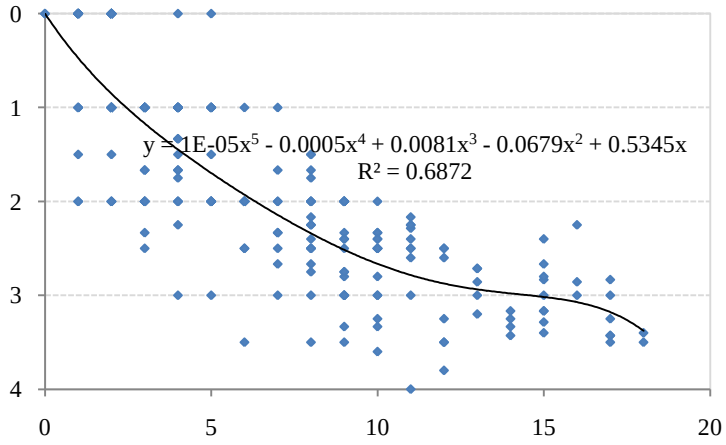


Figura 4.6 - Nuvem de pontos e curva de degradação obtidos pela aplicação do método de Gaspar [2002]

Pela sua análise, a curva de degradação apresenta um andamento em "S" (na sua maioria com andamento côncavo) correspondente a um potencial de degradação que tende a diminuir ao longo do tempo, relacionado com fenómenos que aparentemente estabilizam, mas que na prática continuam activos, criando condições para a ocorrência de uma deterioração mais profunda, num determinado ponto da vida útil do revestimento. No entanto, este tipo de curva não corresponde à percepção visual da degradação em pinturas de fachadas, não sendo capaz de traduzir a realidade física registada. A análise relativa às incoerências detectadas revela, em geral:

- uma penalização de revestimentos que se encontram em bom estado ou com níveis de degradação ligeira (Tabela 4.3), explicando o rápido desenvolvimento inicial da curva;

- uma beneficiação de revestimentos que se encontram em níveis de degradação moderados e generalizados (Tabela 4.4), explicando a diminuição do potencial de degradação ao fim de algum tempo.

Tabela 4.3 - Resumo dos níveis gerais de degradação para revestimentos com idade igual ou inferior a 6 anos

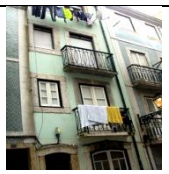
ID	L117	L127.2	L090.3	L021
Registo fotográfico				
Idade	1 ano	2 anos	5 anos	6 anos
NGD	2	2	3	3,5

Tabela 4.4 - Resumo dos níveis gerais de degradação para revestimentos com idade igual ou superior a 15 anos

ID	L007	L077	L036	L051.2
Registo fotográfico				
Idade	16 anos	15 anos	17 anos	16 anos
NGD	2,3	2,4	2,8	2,9

4.5.2 Modelo de Gaspar [2009]

Este modelo pretende, tal como o anterior, determinar um índice numérico que traduza o estado geral de degradação dos revestimentos. É proposta uma evolução do último modelo de quantificação proposto pelo autor [Gaspar, 2002], com vista a colmatar algumas das referidas limitações.

Enquanto que, como referido, o primeiro modelo entra apenas em conta com o nível de degradação e o número das anomalias registadas, o segundo define indicadores de degradação. A severidade é estimada com base nos níveis de degradação de cada grupo de anomalias, com a sua extensão e com o seu peso relativo, sendo a correspondência entre severidade e condição feita posteriormente.

Na aplicação deste método, procede-se à classificação das anomalias registadas de acordo com a sua condição, numa escala de cinco pontos, como realizado no método anterior. Simultaneamente, quantifica-se a área afectada por cada tipo de anomalia e por cada patamar de degradação. Após a recolha e processamento da informação, torna-se possível quantificar os seguintes parâmetros:

- área opaca da fachada (A), expressa em m^2 - visto que este trabalho incide sobre a degradação de fachadas pintadas, considera-se apenas a área de fachada efectivamente pintada;

- área ou extensão da fachada degradada, por tipo de anomalia, expressa em m^2 - área afectada por manchas e alterações cromáticas (A_m), por fissuração (A_f), por perdas de aderência (A_d) e por pulverulência (A_p);

- área degradada ponderada (A_w), expressa em m^2 - obtida pelo produto da área afectada por cada anomalia por uma constante que traduz a sua condição e pela importância relativa do tipo de anomalia.

Quantificados os referidos parâmetros, é possível determinar os indicadores de degradação definidos por Gaspar [2009]:

- extensão da degradação do revestimento (E) - obtida pela relação entre as áreas degradadas, por tipo de anomalia, e a área opaca da fachada;

- extensão ponderada da degradação (E_w) - obtida pelo quociente entre a área degradada ponderada e a área total do revestimento por pintura;

- severidade da degradação normalizada (S_w) de um revestimento - obtida pela razão entre a área degradada ponderada e uma área de referência, equivalente à área total da fachada multiplicada pelo maior nível de gravidade possível.

Nos pontos seguintes, cada um dos indicadores de degradação propostos será objecto de uma abordagem mais detalhada, através da explicitação do seu sentido físico e operacionalidade.

4.5.2.1 Área degradada ponderada - A_w

A área degradada da fachada, ponderada em função do nível de degradação das anomalias que nela ocorrem, é, de acordo com Gaspar [2009], o primeiro passo para a definição dos indicadores de degradação. Desta forma, este indicador permite distinguir a degradação em diferentes fachadas que, mesmo apresentando a mesma extensão de degradação, adquire significados distintos consoante a gravidade das anomalias existentes em cada caso.

Esta distinção é feita através da ponderação da área afectada por cada anomalia através de uma constante, de acordo com a respectiva condição. À semelhança do modelo apresentado anteriormente, adopta-se uma relação linear entre a condição registada e a ponderação proposta (de acordo com a Tabela 4.1, atrás apresentada). Assim sendo, a área degradada ponderada obtêm-se através da seguinte expressão (4.2):

$$A_w = \Sigma(A_n \times k_n) \qquad (4.2)$$

em que:
A_w - somatório ponderado da área afectada pelas diferentes anomalias detectadas, em m^2;
A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n, em m^2;
k_n - factor multiplicativo das anomalias n, em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo K = {0, 1, 2, 3, 4}.

Tendo-se adoptado quatro grupos de anomalias em revestimentos por pintura, a área da fachada afectada por anomalia é a soma das áreas afectadas por cada tipo de anomalia:

$$A_n = A_m + A_f + A_d + A_p \qquad (4.3)$$

em que:
A_m - área do revestimento afectada por anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, em m^2;
A_f - área do revestimento afectada por anomalias do tipo fissuração, em m^2;
A_d - área do revestimento afectada por anomalias do tipo perda de aderência, em m^2;
A_p - área do revestimento afectada por anomalias do tipo pulverulência, em m^2.

Para ilustrar o significado da área degradada ponderada, considere-se a diferença entre duas fachadas com idêntica área opaca (por exemplo de 100 m^2), correspondente a anomalias de condição 1 (degradação ligeira) num caso, e a anomalias de condição 2 (degradação profunda), no outro. Nestes casos, a área ponderada seria de 100 m^2, no primeiro caso, e de 200 m^2, no segundo caso.

Podem também ocorrer situações de sobreposição de anomalias, quer entre tipos de anomalias, quer dentro do mesmo tipo de anomalias. Esta situação reflecte-se na quantificação dos indicadores de degradação, visto que, como refere Silva [2009], uma área de revestimento em que existam mais do que uma anomalia é contabilizada o mesmo número de vezes do que as anomalias nela existentes; para tornar mais perceptível a ideia subjacente ao referido, toma-se o exemplo de uma fachada que apresente simultaneamente manchas, fissuração e destacamento, sendo neste caso a respectiva área contabilizada três vezes.

Pelo referido, a área ponderada, por ser um conceito absoluto, não apresenta um limite superior definido e facilmente pode corresponder a valores superiores à própria área da fachada, o que significa que existe quer uma sobreposição de anomalias no revestimento, quer uma ou mais anomalias de nível superior a 1. No presente estudo, este conceito não apresenta grande utilidade em si próprio, mas permite calcular outros indicadores de degradação mais operacionais.

4.5.2.2 Extensão da degradação - E

A extensão da degradação da fachada é um indicador relativo, obtido pela relação entre a área da fachada degradada e a área total do revestimento, de acordo com a expressão (4.4):

$$E = \frac{\Sigma(A_n)}{A} = \frac{(A_m + A_f + A_d + A_p)}{A} \qquad (4.4)$$

em que:

E - representa a extensão da degradação do revestimento, expressa em percentagem;

A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n, em m^2;

A - área total do revestimento, em m^2;

A_m - área do revestimento afectada por anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, em m^2;

A_f - área do revestimento afectada por anomalias do tipo fissuração, em m^2;

A_d - área do revestimento afectada por anomalias do tipo perda de aderência, em m^2;

A_p - área do revestimento afectada por anomalias do tipo pulverulência, em m^2.

Contrariamente ao que seria esperado intuitivamente, a extensão da degradação assume valores superiores a 100%, nomeadamente em situações de sobreposição de anomalias. Desta forma, à semelhança do indicador A_w (área degradada ponderada), este indicador não tem um limite superior definido, variando entre 0% e o produto de 100% pelo número do tipo de anomalias considerado.

Relativamente à questão da sobreposição de anomalias, consideraram-se variantes relativamente às investigações desenvolvidas por Gaspar [2009] e Silva [2009] que apenas consideram esta possibilidade entre grupos de anomalias, não admitindo sobreposição entre anomalias pertencentes ao mesmo grupo. Em revestimentos por pintura, é comum existir sobreposição no que se refere às anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas. O facto de não se considerar esta sobreposição na definição no estado de degradação geral do elemento leva a que estas situações sejam demasiado beneficiadas, comparativamente a situações que não apresentem sobreposição. Por outro lado, sendo comum as fachadas apresentarem 100% de sujidade superficial, a não consideração de anomalias sobrepostas tornaria incoerente a caracterização da degradação visto que deixaria de se ter em conta a presença de outras anomalias do mesmo tipo, que podem surgir na fachada e que contribuem para um estado de degradação mais avançado. Esta situação seria particularmente sensível em revestimentos que apresentam 100% de sujidade superficial e 100% de alterações de cor e brilho.

Para ilustrar o referido, apresentam-se, na Tabela 4.5, três situações de degradação, referentes a casos de estudo analisados, com vista à sua comparação em termos de nível de degradação: o caso L077 apresenta apenas alterações de brilho, o caso L015 apresenta apenas retenção de sujidade e o caso L018 apresenta

sobreposição de anomalias do tipo retenção de sujidade e alterações de cor, sendo o que apresenta maior degradação.

Tabela 4.5 - Comparação de três situações de degradação distintas

ID	L077	L015	L018
Registo fotográfico			
Anomalias registadas	Alteração de cor e brilho	Sujidade superficial	Sobreposição de anomalias do mesmo grupo: sujidade superficial, manchas de humidade e alterações de cor e brilho

O valor da extensão degradada do revestimento tem uma importância limitada pois apenas apresenta a percentagem de fachada deteriorada, sem qualquer indicação da sua condição. No caso de se considerarem oito tipos de anomalias, o valor máximo de E será de 800%, o que significaria que toda a fachada estaria simultaneamente afectada por manchas de origem biológica, manchas de humidade, alterações de cor e brilho, retenção de sujidade, eflorescências, fissuração, perda de aderência e pulverulência. Na Tabela 4.6, apresentam-se alguns exemplos de sobreposição de anomalias em pinturas de fachadas.

Na prática, 70% dos casos de estudo apresentam uma extensão da degradação inferior a 100% e apenas 5% assume valores superiores a 200% (Figura 4.7), sendo que a extensão máxima atingida é de 288%, correspondente ao caso mais extremo da amostra no qual existem, em praticamente toda a extensão do revestimento, sujidade uniforme, alterações de cor e brilho e fissuração, apresentando, ainda, localmente áreas destacadas e manchas de humidade.

Tabela 4.6 - Exemplos de sobreposição de anomalias em revestimentos por pintura

ID	Não identificado	L004	L076	L036
Registo fotográfico				
Anomalias registadas	Sobreposição de anomalias: manchas de origem biológica, alterações de cor e brilho e sujidade superficial	Sobreposição de anomalias: manchas de origem biológica e alterações de cor e brilho	Sobreposição de anomalias: manchas de origem biológica, manchas de humidade e fissuração	Sobreposição de anomalias: fissuração, manchas de humidade e retenção de sujidade

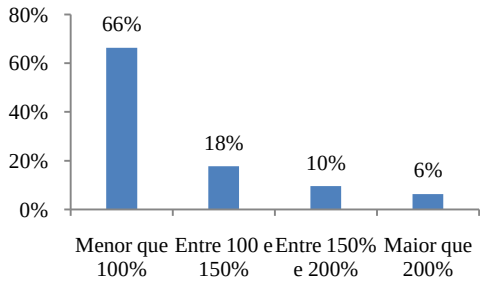


Figura 4.7 - Distribuição da amostra em função da extensão de degradação, dividida em quatro categorias: extensão de degradação menor do que 100%, entre 100 e 150%, entre 150 e 200% e maior do que 200%

4.5.2.3 Extensão da degradação ponderada - E_w

Gaspar [2009] define a extensão de degradação ponderada como a relação entre a área degradada ponderada da fachada (A_w) e a área opaca da fachada (A), de acordo com a expressão (4.5):

$$E_w = \frac{A_w}{A} = \frac{\Sigma(A_n \times k_n)}{A} \quad (4.5)$$

em que:

E_w - representa a extensão da degradação ponderada do revestimento, expressa em percentagem;

A_w - somatório ponderado da área afectada pelas diferentes anomalias detectadas, em m^2;

k_n - factor multiplicativo das anomalias n, em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo K = {0, 1, 2, 3, 4};

A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n, em m^2;

A - área opaca da fachada, em m^2.

Este indicador representa a evolução da variável Nível Global de Degradação (NGD) [Gaspar, 2002], através da incorporação da extensão de fachada degradada e distingue-se do indicador de extensão degrada (E) por considerar o nível de gravidade da degradação de cada anomalia.

A importância de E_w decorre da sua natureza relativa, ao contrário do carácter absoluto inerente ao indicador área degradada ponderada (A_w). Desta forma, a extensão ponderada é um conceito mais operacional, existindo, no entanto, de acordo com Gaspar [2009], importantes consequências deste facto:

- E_w pode variar entre 0% e o somatório das áreas deterioradas da fachada multiplicadas pelos respectivos factores de ponderação;

- este facto pode limitar a compreensão do significado do indicador E_w, distanciando-o de uma relação directa com a realidade física.

Gaspar [2009] considera, para o caso de rebocos, que o valor de E_w pode variar entre 0% e 1200%, correspondente a situações de ocorrência simultânea e na totalidade do revestimento de todas as anomalias (fachada manchada, fissurada e destacada).

No presente trabalho, considera-se em teoria, embora extremamente improvável de ocorrer na prática, a possibilidade de sobreposição de todas as anomalias consideradas, à excepção de destacamentos. Nas

áreas em que existem destacamentos, não se considera qualquer outra anomalia sobreposta. Pela análise das Tabelas 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10, o limite máximo de E_w é de 2800%, decorrente da ocorrência, simultânea e em toda a área do revestimento, de todas as anomalias estéticas (1600%), de fissuração (400%), de empolamentos (400%) e de pulverulência (400%).

Tabela 4.7 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência simultânea de todas as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas na totalidade da fachada

Anomalias	Nível de degradação máximo	E_w (%)
Manchas de origem biológica	4	400
Manchas de humidade	3	300
Alterações de cor e brilho	3	300
Retenção de sujidade	3	300
Eflorescências	3	300
		Máximo = 1600 %

Tabela 4.8 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de fissuração na totalidade da fachada

Anomalia	Nível de degradação máximo	E_w (%)
Fissuração	4	400
		Máximo = 400%

Tabela 4.9 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de empolamentos na totalidade da fachada

Anomalia	Nível de degradação máximo	E_w (%)
Empolamentos	4	400
		Máximo = 400%

Tabela 4.10 - Valor máximo da extensão de degradação ponderada da fachada para o caso de ocorrência de pulverulência na totalidade da fachada

Anomalia	Nível de degradação máximo	E_w (%)
Pulverulência	4	400
		Máximo = 400%

Como se observa na Figura 4.8, na prática, 85% dos casos de estudo apresentam um valor da extensão degradada ponderada da fachada inferior a 400% e em apenas 5% dos casos se obtêm valores superiores a 600%. Assim, apesar de o limite teórico deste indicador ser de 2800%, os valores obtidos encontram-se consideravelmente abaixo deste máximo, traduzindo a forte improbabilidade da sobreposição simultânea de todas as anomalias consideradas.

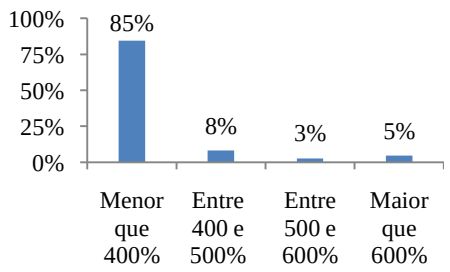


Figura 4.8 - Distribuição da amostra em função da extensão de degradação ponderada, dividida em quatro categorias: extensão de degradação ponderada menor do que 400%, entre 400 e 500%, entre 500 e 600% e maior do que 600%

Analisando a amostra no que se refere aos resultados obtidos para o indicador E_w, encontram-se algumas incongruências, que põem em causa a sua capacidade em traduzir a degradação real dos casos de estudo:

- o caso L066 apresenta um dos valores mais elevados da extensão degradada ponderada, apesar de apresentar, apenas, retenção de sujidade e alterações de cor e brilho;

- o caso L001 apresenta uma extensão de degradação ponderada elevada, apesar de só apresentar anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas e 2,2% de área fissurada, não tendo anomalias do tipo perda de aderência;

- o caso L010, apesar de corresponder a uma das fachadas com maior área destacada da amostra, correspondente a 13% da área opaca do revestimento, apresenta uma extensão ponderada degradada semelhante ao caso L009, que apresenta só, praticamente, anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas;

- o caso L118.2 apresenta uma das fachadas mais deterioradas da amostra analisada; no entanto, o valor da extensão degradada ponderada assume um valor relativamente baixo;

- o caso L092 apresenta uma extensão de degradação duas vezes inferior ao caso L094, embora o primeiro apresente destacamentos, fissuras e empolamentos, sendo que o segundo apresenta apenas manchas de sujidade.

Estas contradições poderão ser explicadas pelo facto de se estar a considerar que todas as anomalias apresentam igual importância. Desta forma, as situações mais marcadas pela presença de manchas acabam por ser penalizadas por comparação com situações com anomalias de maior gravidade, nomeadamente destacamentos. Em pinturas de fachadas, esta situação é particularmente sentida pelo facto de estas poderem apresentar 100% de sujidade superficial, sendo que os destacamentos raramente apresentam áreas superiores a 5% da área opaca da fachada. Esta situação é ainda acentuada nos casos em que exista sobreposição de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas. Por outro lado, sendo que este tipo de anomalia tem maior incidência nos casos estudados (capítulo 3), é esperado que os valores da extensão degradada ponderada estejam, de uma forma geral, acima dos que se observam em condições de serviço, traduzindo assim um panorama pessimista da realidade física.

Assim, para colmatar esta limitação, surge a necessidade de se distinguir o peso relativo das anomalias. Desta forma, Gaspar [2009] sugeriu que a expressão (4.5) fosse complementada com coeficientes de ponderação, que têm em conta a distinção hierárquica entre os diferentes grupos de anomalias, assumindo a forma da expressão (4.6), a seguir apresentada:

$$E_{w,p} = \frac{A_w}{A} = \frac{\Sigma\left(A_n \times k_n \times k_{a,n}\right)}{A} \quad (4.6)$$

em que:

E_w - representa a extensão da degradação ponderada do revestimento, expressa em percentagem;

A_w - somatório ponderado da área afectada pelas diferentes anomalias detectadas, em m^2;
k_n - factor multiplicativo das anomalias n, em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo K = {0, 1, 2, 3, 4};
$k_{a,n}$ - coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detectada; $k_{a,n} \in R^+$; $k_{a,n} = 1$ em caso da inexistência de qualquer especificação;
A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n, em m^2;
A - área da fachada, em m^2.

4.5.2.4 Severidade da degradação normalizada - S_w

A definição da severidade da degradação normalizada (S_w) surge da necessidade de tornar o indicador E_w (extensão ponderada da degradação) mais operacional, visto que este último apresenta a limitação de variar num intervalo de difícil interpretação.

Este indicador (S_w) designa, assim, a relação entre o valor da extensão ponderada e uma área de referência, resultante do produto da área da fachada pelo nível de condição mais desfavorável, através da expressão (4.7):

$$S_{w,p} = \frac{\Sigma\left(A_n \times k_n \times k_{a,n}\right)}{A \times k} = \frac{E_w}{k} \quad (4.7)$$

em que:
S_w - severidade da degradação do revestimento, expressa em percentagem;
E_w - representa a extensão da degradação ponderada do revestimento, expressa em percentagem;
k_n - factor multiplicativo das anomalias n, em função do seu nível de degradação, tomando os valores pertencentes ao intervalo K = {0, 1, 2, 3, 4}.
$k_{a,n}$ - coeficiente de ponderação correspondente ao peso relativo da anomalia detectada; $k_{a,n} \in R^+$; $k_{a,n} = 1$ em caso da inexistência de qualquer especificação;
A_n - área do revestimento afectada por uma anomalia n, em m^2;
A - área da fachada, em m^2;
k - factor multiplicativo correspondente ao nível de condição mais elevada da degradação de um revestimento de área A.
A severidade representa, assim, a relação entre a extensão degradada ponderada (E_w) e o nível máximo de degradação, correspondente ao nível 4, sendo - pela relação linear existente entre os dois parâmetros - k = 4.

4.5.2.5 Ponderação relativa entre anomalias

Como referido, os dados obtidos para os indicadores da extensão ponderada (E_w) e da severidade (S_w) da degradação de fachadas pintadas apresentam distorções resultantes do pressuposto de que todas as anomalias têm e mesma importância relativa, sobretudo no que diz respeito às manchas / alterações cromáticas e aos destacamentos.

Desta forma, estudaram-se diversos cenários para os indicadores E_w e S_w, com base numa relação hierárquica entre as anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas, fissuração, pulverulência e perda de aderência, à semelhança do trabalho de Silvestre [2005] e Gaspar [2009]. Em cada cenário, testaram-se diferentes pesos relativos entre estes grupos de anomalias e analisaram-se os resultados obtidos no que se refere à sua capacidade para traduzir a realidade física registada.

No presente trabalho, opta-se por não incluir todos os cenários testados, mas apenas apresentar o se considera alcançar melhores resultados, comparando-o com a situação de referência, correspondente a assumir igual pesos relativo entre as diferentes anomalias ($k_{a,n} = 1$):

- cenário 1 (C1): situação de referência em que todas as anomalias apresentam igual importância, correspondendo aos dados apresentados até ao momento;

- cenário 2 (C2): optimização da ponderação entre anomalias, sendo que as anomalias do tipo perda de aderência apresentam maior gravidade do que as anomalias do tipo fissuração e pulverulência, que apresentam maior importância do que as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas.

Na Tabela 4.11, apresentam-se os coeficientes de ponderação entre anomalias adoptados no dois cenários estudados.

Tabela 4.11 - Ponderações relativas entre anomalias, correspondentes aos dois cenários (C1 e C2)

Tipo de anomalia	Manchas e alterações cromáticas		Fissuração		Perda de aderência		Pulverulência	
Cenário de estudo	C1	C2	C1	C2	C1	C2	C1	C2
Ponderação Relativa ($k_{a,n}$)	1.00	0.25	1.00	1.00	1.00	1.50	1.00	1.00

Nas Figuras 4.9 e 4.10, apresentam-se as distribuições da degradação dos 220 casos de estudo, referentes ao cenário 1 (sem ponderação entre anomalias) e ao cenário 2 (com a ponderação entre anomalias apresentada na Tabela 4.11), respectivamente. Desta forma, é possível analisar o impacte da adopção de coeficientes de ponderação, na quantificação da condição da fachada, sendo de referir:

- a distribuição da degradação sem ponderação (C1) apresenta uma maior dispersão de pontos face à distribuição com ponderação entre anomalias (C2);

- os valores da severidade degradada normalizada sem ponderação (C1) são, geralmente, mais elevados do que os valores da severidade com ponderação (C2), confirmando a forma pessimista com que o modelo sem ponderação traduz a realidade física;

- analisando os casos de estudo até aos 5 anos de idade, verifica-se que a distribuição da severidade sem ponderação (C1) é aproximadamente quatro vezes menor do que a severidade com ponderação (C2), o que traduz a adopção do coeficiente de ponderação de 0.25 para as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, revelando a forte predominância deste tipo de anomalia nos primeiros anos de vida útil das pinturas (Figura 4.11);

- contrariamente aos valores da severidade sem ponderação (C1), os valores da severidade com ponderação (C2) encontram-se compreendidos entre 0 e 100%, sendo, assim, de fácil interpretação no âmbito do estudo da durabilidade de fachadas.

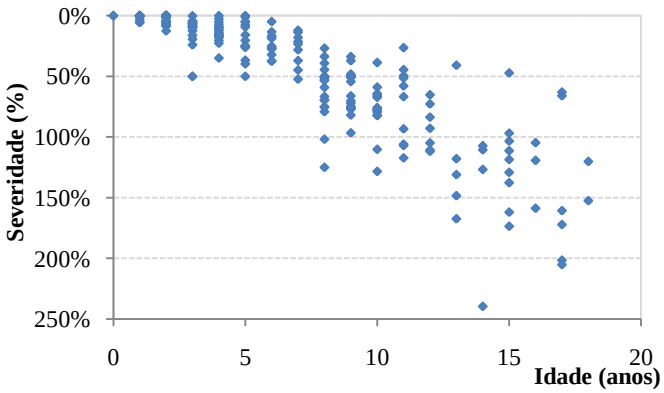


Figura 4.9 - Severidade da degradação normalizada dos 220 casos de estudo, sem ponderação relativa entre anomalias

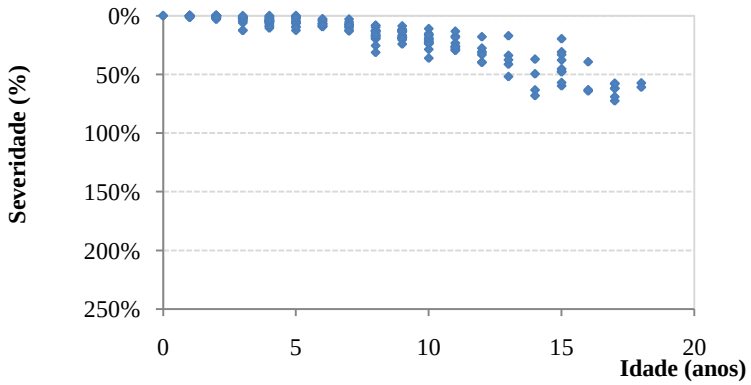


Figura 4.10 - Severidade da degradação normalizada dos 220 casos de estudo, com ponderação relativa entre anomalias

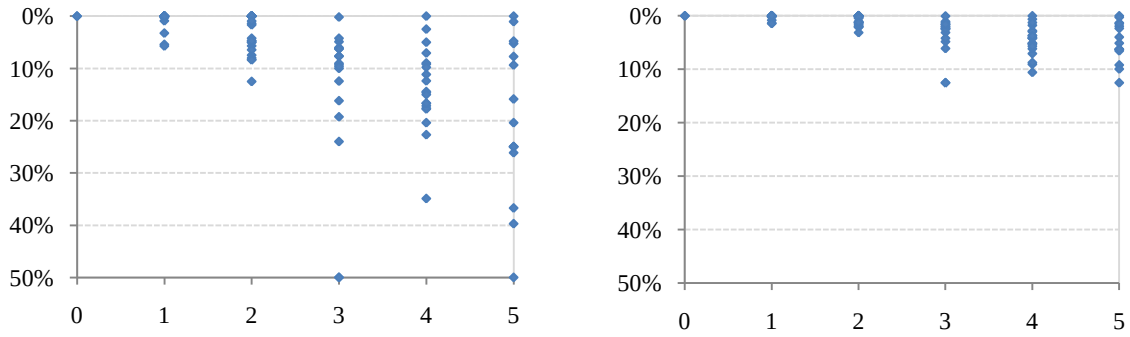


Figura 4.11 - Comparação da severidade da degradação normalizada dos casos de estudo com menos de 5 anos: sem ponderação (à esquerda) e com ponderação (à direita)

Para os casos em que a extensão degradada ponderada (E_w) e, consequentemente, a severidade degradada normalizada (S_w) - ambas sem ponderação relativa entre anomalias - apresentam incoerências na caracterização da degradação (identificadas em 4.5.2.3), é apresentado um resumo (Tabela 4.12) dos valores da sua severidade, relativos aos dois cenários estudados. Desta forma, pretende-se verificar se as falhas verificadas no modelo sem ponderação se repetem no modelo com ponderação.

Tabela 4.12 - Comparação da severidade ponderada normalizada nos dois cenários estudados, referentes aos casos em que o modelo sem ponderação não traduzia a realidade física

ID	L066	L001	L010	L009
Registo fotográfico				
Cenário 1	125%	77%	120%	119%
Cenário 2	31%	19%	61%	38%

ID	L118.2	L092	L094
Registo fotográfico			
Cenário 1	66%	26%	50%
Cenário 2	69%	28%	13%

Uma análise detalhada aos referidos casos revela que:

- relativamente aos casos L066 e L001, que apresentavam valores da severidade sem ponderação demasiado elevados para a degradação observada (essencialmente devida a anomalias do tipo manchas), apresentam severidades com ponderação relativas a níveis de degradação ligeira a moderada, o que traduz o estado real de conservação das fachadas;

- no que se refere aos casos L010 e L009, que apresentavam praticamente a mesma severidade sem ponderação, apesar de terem níveis de degradação totalmente distintos, apresentam valores da severidade com ponderação coerentes com o seu estado de deterioração: a severidade do caso L010 (fachada com 13% de área destacada) é 1.6 vezes superior à severidade com ponderação relativa ao caso L009 (fachada essencialmente com manchas);

- no caso L118.2, em que o valor da severidade sem ponderação assumia um valor relativamente baixo, apresenta uma severidade com ponderação elevada, correspondendo a um dos maiores valores atingidos pela amostra, reflectindo assim a degradação generalizada da fachada;

- quanto aos casos L092 e L094, nos quais a severidade sem ponderação traduzia o oposto da realidade observada, isto é, maior severidade para o caso menos degradado, os valores da severidade com ponderação invertem os resultados, expressando o estado de degradação real dos revestimentos: o caso L092, que apresenta destacamentos, fissuras e empolamentos, tem uma severidade mais de 2.2 vezes superior ao caso L092 que apresenta apenas alguma retenção de sujidade superficial.

Pela análise realizada, a severidade com ponderação ultrapassa as limitações existentes no modelo sem ponderação, sendo capaz de traduzir a realidade física registada, diminuindo o peso das anomalias ligeiras e acentuando a importância das mais graves. Desta forma, todos os modelos de degradação, apresentados no presente capítulo, são baseados nos valores da severidade degradada normalizada, com ponderação relativa entre anomalias. No Anexo V apresentam-se exemplos do levantamento e dos cálculos efectuados.

4.5.2.6 Relação entre severidade e condição

Como se viu, a severidade ponderada normalizada é um indicador da degradação global dos revestimentos que, na prática, varia entre 0 e 100%, tendo em conta três parâmetros na sua definição: o nível de degradação das anomalias detectadas, a sua extensão e o seu peso relativo, expresso através de coeficientes de ponderação.

Para tornar este indicador operacional, é necessário estabelecer a relação entre severidade, expressa em percentagem, e condição, expressa numa escala de 0 a 4, cujo significado físico já foi expresso no capítulo 3. Poderia adoptar-se uma relação linear entre estas duas variáveis, dividindo a escala de 0 a 100% em cinco intervalos, correspondentes a um dos cinco níveis de degradação (0, 1, 2, 3 e 4). No entanto, com base num conceito básico matemático que exprime que é verdadeiro o que sempre o é, esta hipótese é facilmente rejeitada. De facto, se assim fosse, não existiria nenhuma fachada com nível 4 de degradação - visto que a severidade assume sempre valores inferiores a 75% - o que não se confirma na observação da degradação dos casos de estudo, existindo fachadas com níveis generalizados e elevados de deterioração.

A definição de uma relação inequívoca entre severidade e condição deverá basear-se na realidade observada, através da percepção da degradação dos diferentes casos de estudo, atribuindo-lhes uma condição de 0 a 4 e fazendo corresponder estes níveis aos valores obtidos para a severidade, de forma a criar intervalos de variação. No entanto, esta correspondência assume a mesma dificuldade que o estabelecimento de níveis mínimos de desempenho dos revestimentos, pois assenta em critérios subjectivos, referidos em 4.4.

A relação, expressa por patamares de condição, entre o nível de degradação (valores discretos) e a severidade (valores contínuos), foi estabelecida com base no modelo de Gaspar [2009], já adoptada por Silva [2009]. O critério adoptado na correspondência entre severidade e condição assenta na coerência entre a degradação observada nos casos de estudo e o nível de degradação que lhes é atribuído, através do seu valor da severidade. Foram efectuadas algumas alterações relativamente aos valores definidos pelos referidos autores, explicadas com maior detalhe mais à frente. A correspondência adoptada é apresentada na Tabela 4.13 e graficamente, sob a forma de patamares, na Figura 4.12.

Tendo-se considerado o nível 3 como o limite de vida útil, pela Tabela 4.13, este corresponde a uma severidade de degradação ponderada de 20%, equivalente a um nível de desempenho de 80%. Embora a definição deste limite não tenha em conta os diferentes perfis de aceitação da degradação ou condicionantes situacionais na decisão de intervir, considera-se aceitável do ponto de vista físico.

Tabela 4.13 - Correspondência entre severidade e condição

Severidade	Níveis de degradação
$S_{w,p} \leq 1\%$	0
$1\% < S_{w,p} \leq 10\%$	1
$10\% < S_{w,p} \leq 20\%$	2
$20\% < S_{w,p} \leq 40\%$	3
$S_{w,p} \geq 40\%$	4

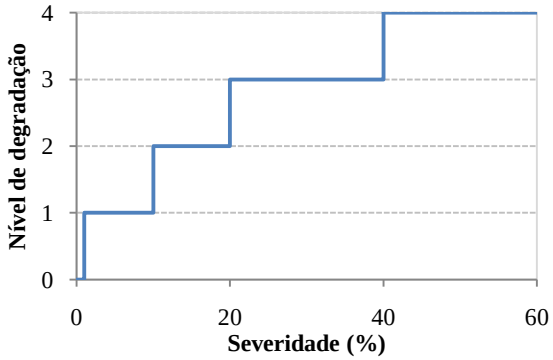
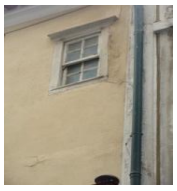


Figura 4.12 - Relação entre severidade e nível de degradação

O fim da vida útil não ocorre por existir uma determinada anomalia na fachada, mas devido à presença de mecanismos de degradação que, de acordo com a sua condição, a sua extensão e o seu peso relativo, conduzem conjuntamente à deterioração do desempenho do revestimento. Obviamente que determinadas anomalias afectam mais a degradação, como é o caso de destacamentos; no entanto, alguns revestimentos atingem o fim da vida útil, apresentando apenas anomalias ligeiras, como é o caso de manchas, com níveis de degradação elevados e elevada extensão. Para ilustrar o referido, apresentam-se na Tabela 4.14, alguns casos de estudo no ou perto do limite de vida útil (severidades da ordem de 20%) que apresentam anomalias distintas.

Tabela 4.14 - Casos de estudo no ou perto do limite de vida útil (severidade da ordem de 20%)

<table>
<tr><td colspan="4">L035</td></tr>
<tr><td rowspan="2"> </td><td>  </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Empolamentos</td><td>Destacamento</td><td>Sujidade superfical</td></tr>
<tr><td colspan="4">Severidade 20%</td></tr>
<tr><td colspan="4">L029</td></tr>
<tr><td rowspan="2"> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">Sujidade uniforme</td><td>Sujidade localizada e manchas de origem biológica</td></tr>
<tr><td colspan="4">Severidade 19%</td></tr>
</table>

4.5.2.7 Distribuição da amostra em função dos indicadores de degradação, com ponderação entre anomalias

Uma vez estabelecidos os coeficientes de ponderação, apresenta-se na Figura 4.13, a distribuições da amostra em função do indicador extensão ponderada. Verifica-se, assim, uma distribuição relativamente homogénea nos três primeiros intervalos considerados, variando de 0 a 100%, sendo que 80% dos casos estudados têm extensões ponderadas da degradação inferiores a este valor. Os revestimentos com um valor superior a 100% representam 20% da amostra, distribuída uniformemente nos quatro intervalos considerados, sendo o máximo atingido de 290% (caso L004), correspondente a uma fachada com todas as anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, apresentando sobreposição e níveis máximos de degradação e, ainda, áreas destacadas.

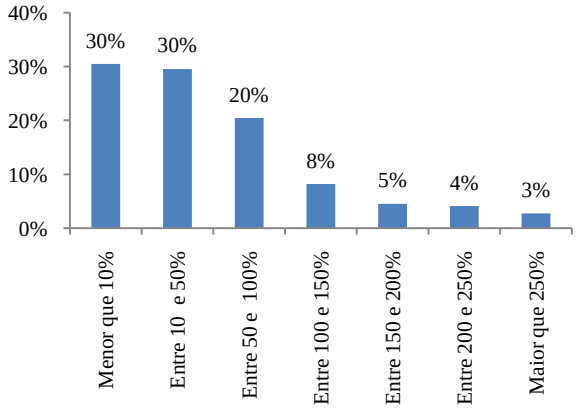


Figura 4.13 - Distribuição da amostra em função da extensão ponderada, considerando sete intervalos

Por outro lado, definida a relação entre severidade e condição, é possível dividir a amostra em cinco intervalos, função dos valores obtidos para a severidade ponderada normalizada (Figura 4.14).

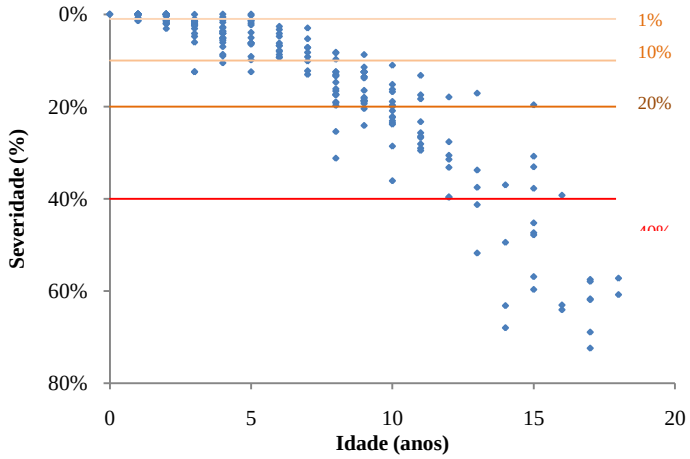


Figura 4.14 - Distribuição da severidade dos 220 casos de estudo em cinco intervalos de deterioração correspondentes aos níveis 0, 1, 2, 3 e 4

A partir da Figura 4.14, pode-se analisar a distribuição da amostra em função dos respectivos intervalos da severidade (Figura 4.15) e, de acordo com a correspondência entre intervalos de severidade e níveis de degradação, torna-se possível traduzir o seu significado físico, isto é, estudar a distribuição da amostra em função dos níveis de degradação (Figura 4.16). Assim, as referidas figuras apresentam a mesma

informação: a primeira sob a forma de valores de severidade e a segunda sob a forma de níveis de degradação.

Pela análise das figuras, verifica-se a predominância de fachadas de nível 1 e nível 2 - que representam cerca de 60% dos casos - correspondentes a um bom estado de conservação e a uma degradação ligeira, respectivamente. A incidência das fachadas com degradação moderada (nível 3) é de 15%, correspondentes a 34 revestimentos. Relativamente ao nível 4, que traduz degradação generalizada ou profunda, é o que representa o menor número de casos, senda a sua percentagem de apenas 9% (20 fachadas). Finalmente, existe ainda uma percentagem considerável de casos, em que não existe degradação visível, sendo esta de 17%, referentes a 37 revestimentos.

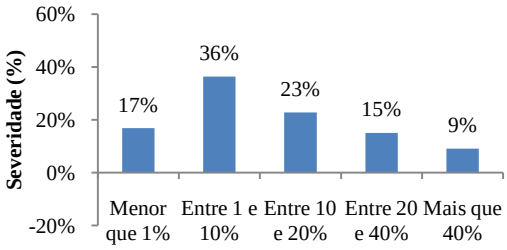


Figura 4.15 - Distribuição da amostra em função da severidade, considerando os cinco intervalos

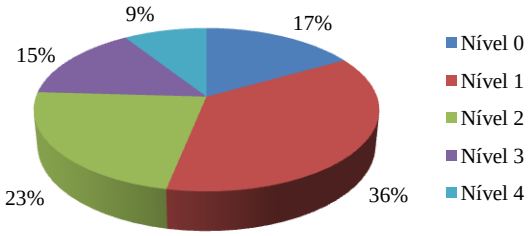


Figura 4.16 - Distribuição da amostra em função dos cinco níveis de condição

A classificação pode ainda fazer-se em função do número ou percentagem de casos analisados antes e depois do final da vida útil. Assim, foram inspeccionadas 167 fachadas, correspondentes ao níveis 0, 1 e 2 de degradação, que respondem ao requisitos mínimos de desempenho de pinturas de fachadas, e 53 revestimentos que já atingiram o final da sua vida útil. Em percentagem, estes valores tomam a forma de 76% e 24%, respectivamente.

4.6 Análise dos resultados através de regressão simples linear e não-linear

Com base nos resultados obtidos (Anexo IV), propõe-se um modelo para o cálculo da durabilidade de pinturas de fachadas No presente trabalho, este representa o último passo da metodologia de previsão de vida útil adoptada, constituindo uma primeira aproximação à aplicação do método factorial a revestimentos por pintura.

4.6.1 Modelo de degradação geral

Conhecida a nuvem de pontos que traduz numericamente os resultados obtidos em campo, é possível determinar a curva de regressão do elemento estudado através de técnicas estatísticas para obter a curva de degradação da amostra, tal como se ilustra na Figura 4.17, apresentando curvas de regressão linear e polinomial. As curvas de regressão assim obtidas representam uma linha de degradação média da amostra.

De acordo com Gaspar [2009], uma vez que não se distinguem quais os mecanismos de degradação que afectam as pinturas, nem qual o critério que deixa de ser cumprido, estas curvas representam o efeito cumulativo da totalidade das acções e mecanismos de degradação que afectam os revestimentos, ou seja, a perda de desempenho global destes, em condições de serviço.

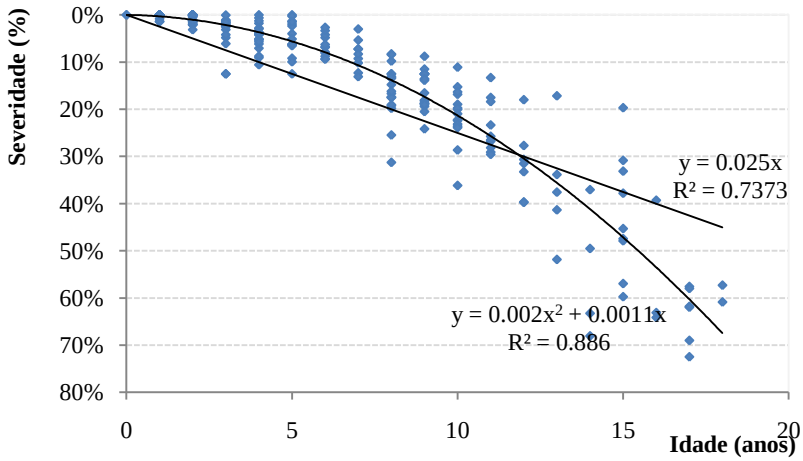


Figura 4.17 - Curvas de degradação (linear e polinomial) obtidas a partir dos 220 casos de estudo

Em primeiro lugar, como é possível observar na Figura 4.17, os pontos constantes do gráfico de degradação geral apresentam alguma dispersão. Esta situação é expectável pois existem diversos factores que exercem uma influência significativa na durabilidade e no desempenho dos materiais. De acordo com Garrido [2010], a obtenção de pontos sem dispersão significaria que a degradação e o desempenho diferido não eram afectados por qualquer factor, sendo iguais para qualquer revestimento, independentemente das suas características e do seu contexto de aplicação o que, na prática, não se afigura como verosímel.

A segunda observação prende-se com a análise dos coeficientes de correlação (R^2), correspondentes ao quadrado do coeficiente de correlação momentânea do produto de Pearson, que avaliam a proporção da variância dos valores de y (severidade) em relação à variância x (idade da pintura). Este parâmetro varia entre 0 (correlação nula) e 1 (correlação perfeita). Uma análise da Figura 4.15 revela que ambas as curvas de regressão (linear e polinomial de segundo grau) apresentam valores de R^2 relativamente elevados (R^2 de 0.74 e 0.89, respectivamente), sendo que a curva polinomial é a que melhor corresponde ao padrão de degradação da amostra estudada. Neste caso, a variabilidade da degradação (variável dependente) é explicada a 89% pelo modelo, ou seja, 89% da variabilidade de y (degradação) é explicada por x (idade da pintura) e 11% deve-se a outros factores.

Por fim, relativamente à configuração obtida para a curva polinomial, esta revela um desenvolvimento convexo, expressando uma tendência dos revestimentos por pintura de padecerem de anomalias de desenvolvimento lento, mas cujos efeitos se fazem sentir cumulativamente. Como se vê na Figura 4.17, até aos 5 anos, a velocidade de deterioração é baixa, seguida de uma tendência de aceleração do potencial de degradação. De acordo com Gaspar [2009], este padrão é considerado como o que melhor traduz os fenómenos de deterioração dos materiais, quando não existem anomalias precoces e quando estes estão sujeitos a uma manutenção corrente.

4.6.2 Degradação global por tipo de anomalia

Apresentado o modelo de deterioração global dos casos estudados, interessa esclarecer de que forma é que cada tipo de anomalia contribui para a degradação dos revestimentos por pintura, quer em termos de extensão, quer no que se refere à severidade.

Na Figura 4.18, apresenta-se a distribuição da extensão média da degradação, segundo os vários grupos de anomalias. Este indicador entra apenas em conta com a área afectada por anomalias, independentemente do grau de severidade dos problemas detectados e do seu peso relativo.

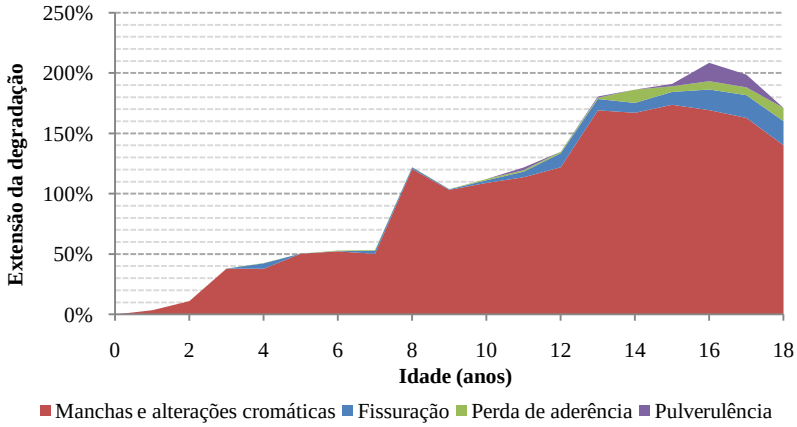


Figura 4.18 - Extensão da degradação associada a cada anomalia

De uma forma geral, como seria expectável, a extensão da degradação aumenta ao longo do tempo, para cada grupo de anomalias, existindo a clara prevalência de anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas. A partir de uma análise mais detalhada por tipo de anomalia, verifica-se que as anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas estão presentes em todas as idades dos revestimentos com um desenvolvimento crescente e, a partir dos 8 anos, começam a ocupar mais de 100% da área das fachadas, traduzindo o fenómeno de sobreposição. Os problemas detectados do tipo fissuração têm, de uma forma geral, extensões relativamente baixas e surgem, dentro dos casos analisados, a partir dos 3 anos, sendo a sua incidência mais elevada a partir dos 9 anos, onde começam a apresentar extensões não desprezáveis e crescentes ao longo do tempo até atingirem áreas da ordem dos 20%. Relativamente aos destacamentos, começam a ser evidentes a partir dos 9 anos, com extensões entre 1 e 2% e, só a partir dos 13 anos, surgem destacamentos da ordem dos 10%, mantendo-se a sua extensão relativamente constante até aos 18 anos. Finalmente, as anomalias do tipo pulverulência são as que aparecem mais tarde, dentro da amostra estudada, com os primeiros casos aos 10 anos, embora com extensões pouco acentuadas. A partir dos 15 anos, por comparação, assumem extensões consideráveis, da ordem de 20%.Na Figura 4.19, apresenta-se a distribuição da severidade média da degradação, segundo os vários grupos de anomalias. Neste caso, pretende-se analisar de que forma é que cada anomalia contribui para a degradação observada. Por comparação com a Figura 4.18, existe um menor peso das manchas e alterações cromáticas e uma maior contribuição dos restantes mecanismos de degradação, expressando a adopção de coeficientes de ponderação, que diminuem o peso das anomalias ligeiras (manchas) e acentuam o peso das anomalias mais graves (destacamentos).

Pode, então, concluir-se que a degradação dos revestimentos se deve, nos primeiros anos de vida útil, essencialmente a anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas, existindo alguns casos pontuais de fissuração e destacamentos, com severidade reduzida e provavelmente devidas a erros de concepção e execução. A partir dos 10 anos, estão presentes todas as anomalias consideradas, contribuindo de forma crescente para a degradação observada. A partir dos 13 anos, a amostra apresenta um andamento relativamente constante relativamente às manchas e alterações cromáticas, sendo as restantes anomalias as responsáveis pelo aumento da severidade, fornecendo uma ligação muito estreita entre estas últimas manifestações e níveis elevados de degradação. A título de exemplo, a degradação média dos revestimentos aos 17 anos de idade, é devida em 43% a manchas e alterações cromáticas, 28% a fissuração, 16% a pulverulência e 13% a perdas de aderência.

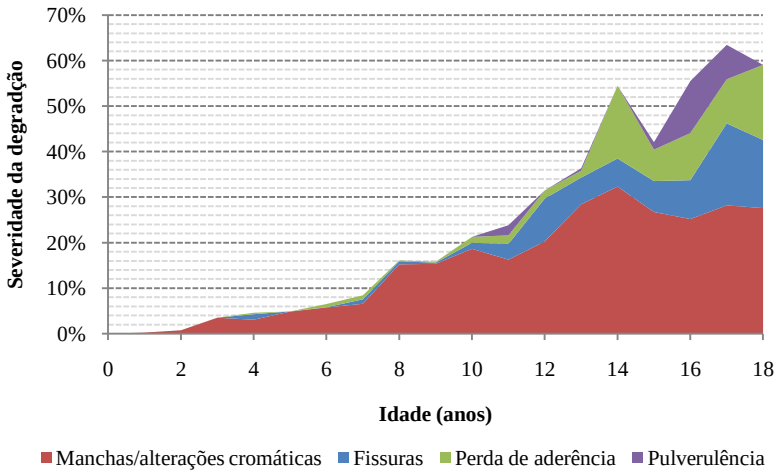


Figura 4.19 - Severidade da degradação associada a cada anomalia

A propósito da Figura 4.19, surge também a explicação da correspondência efectuada entre intervalos de severidade e níveis de degradação. Pela sua análise, pode dividir-se o gráfico apresentado em cinco intervalos de severidade:

- no primeiro intervalo [0, 1%], não existem praticamente manifestações patológicas;

- no segundo intervalo [1, 8%], as anomalias são maioritariamente do tipo manchas e alterações cromáticas, com um aumento constante da severidade ao longo do tempo (recta de declive pouco acentuado), existindo alguns casos pontuais de fissuração e perdas de aderência, praticamente residuais;

- no terceiro intervalo [8, 16%], existe um aumento acentuado das manchas e alterações cromáticas (aumento do declive da recta), começando a fissuração e as perdas de aderência a contribuir, embora ainda em pequena escala, para o aumento da severidade;

- no quarto intervalo [16, 40%], aumenta a degradação provocada por manchas, sendo sobretudo de realçar o aumento da fissuração e das perdas de aderência que começam a contribuir significativamente para o aumento da severidade (rectas com declives acentuados);

- no quinto intervalo [40, 65%], a severidade provocada por anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas assume um valor praticamente constante, existindo um salto nas perdas de aderência, que aumentam significativamente; por outro lado, surge pulverulência e uma aumento da fissuração; neste intervalo, aproximadamente, 50% da severidade é provocada por manchas e alterações cromáticas, sendo as restantes manifestações patológicas responsáveis pelo outros 50%.

Desta forma, a correspondência entre intervalos de severidade e condição pode ser efectuada com base na análise efectuada, sabendo-se que existe uma relação estreita entre o tipo de anomalias presente e o nível de degradação. Sendo os valores que definem o limite inferior e superior dos intervalos baseados na amostra analisada, estes podem assumir valores diferentes noutros casos de estudo. Opta-se assim por adoptar (também por uma questão de facilidade de trabalho) os valores arredondados apresentados na Tabela 4.13 (4.5.2.6), podendo estes ser interpretados como a margem de incerteza associada aos valores referentes aos cinco intervalos considerados da Figura 4.19.

4.6.3 Influência dos factores condicionantes

A consideração de factores de degradação consiste, como referido, numa primeira aproximação ao método factorial, apresentando-se, na Tabela 4.15, os subfactores e categorias analisados, dentro dos factores determinísticos definidos no método apresentado no Regulamento Japonês.

De acordo com Garrido [2010], os factores de degradação funcionam como filtros que reúnem conjuntos de edifícios com determinadas características comuns. Assim, agrupando a amostra de acordo com estas diferentes variáveis, obtêm-se curvas de regressão independentes, permitindo obter modelos de degradação associados a cada factor. Neste ponto, pretende-se, assim, apresentar e descrever sucintamente os resultados obtidos.

Tabela 4.15 - Identificação dos subfactores e categorias consideradas, para cada factor estudado do método factorial

Factor	Subfactores	Categorias analisadas			
Factor A - factor relacionado com a qualidade dos materiais	Tipo de produto	Lisas	Texturadas	Membranas	
	Textura	Lisa	Rugosa		
	Cor	Branco	Amarelo, cor-de-laranja, cor-de-rosa claro	Verde claro, azul claro e cor-de-rosa escuro	
Factor C - factor relacionado com o nível de execução	Preparação da superfície	Repintura sobre pintura já existente	Pintura sobre reboco		
Factor E - factor relacionado com as condições ambientais exteriores	Humidade	Desfavorável	Corrente		
	Proximidade mar	Menos de 1 km	Entre 1 e 5 km	Mais de 5 km	
	Proximidade de fontes poluentes	Desfavorável	Corrente		
	Acção vento-chuva	Suave	Moderada	Severa	
	Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste

4.6.3.1 Influência da humidade

O subfactor humidade apresenta um padrão de degradação no qual se distinguem dois grupos associados aos diferentes níveis considerados, para valores de R^2 relativamente elevados, como se ilustra na Figura

4.20. Como seria de esperar, os revestimentos sujeitos a uma exposição à humidade desfavorável, correspondentes a casos situados em Cascais, Oeiras e na Amadora, apresentam uma deterioração mais rápida do que os revestimentos sujeitos a uma exposição à humidade corrente, referentes a casos situados em Lisboa, Loures e Odivelas.

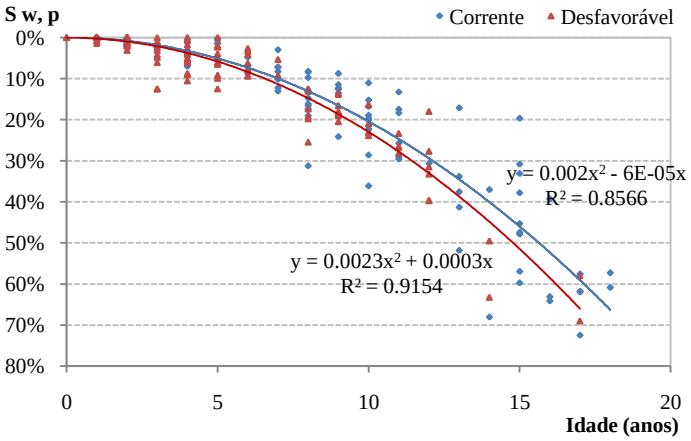


Figura 4.20 - Curvas de degradação em função da exposição à humidade

Considerando um limite de aceitação mínimo correspondente a um nível de degradação de 20%, é possível associar uma vida útil superior aos revestimentos sujeitos a humidade corrente, sendo a diferença encontrada de 0.75 anos (aproximadamente 9 meses).

Neste ponto, interessa referir que, contrariamente a outros materiais, as pinturas de fachadas têm uma durabilidade bastante reduzida, pelo que dificilmente se poderão achar diferenças de vida útil com ordens de grandeza superiores a 1 ou 2 anos, dentro do intervalo de idades considerados no presente trabalho. Considera-se assim que a humidade tem uma influência significativa na degradação de pinturas.

4.6.3.2 Influência da proximidade do mar

O efeito da proximidade do mar na durabilidade estimada de fachadas é apresentado na Figura 4.21, sendo de realçar a forte correlação existente (R^2 = 0.94) para os casos situados Entre 1 e 5 km, referentes a edifícios situados em Oeiras e Cascais.

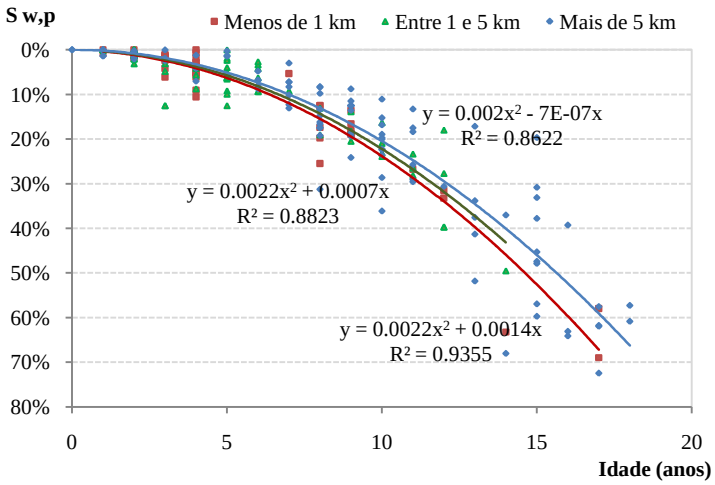


Figura 4.21 - Curvas de degradação em função da proximidade do mar

Verifica-se, assim, uma ligeira distinção entre as três categorias consideradas. De acordo com a literatura existente sobre o presente tema [Cole et al., 1999], [Ferreira, 2004], poder-se-ia esperar uma maior diferença entre as diferentes categorias.

No entanto, analisando apenas os casos extremos (fachadas a menos de 1 km e a mais de 5 km), a distinção é maior. Os revestimentos analisados, sujeitos a condições mais desfavoráveis, têm uma vida útil de menos 0.63 anos (7,2 meses) do que as fachadas situadas a mais de 5 km da linha da costa. Analisando os revestimentos que já atingiram o fim da vida útil, a diferença atinge mais de 1 ano.

4.6.3.3 Influência da proximidade de fontes poluentes

A modelação da durabilidade em função da proximidade de fontes poluentes é apresentada na Figura 4.22.

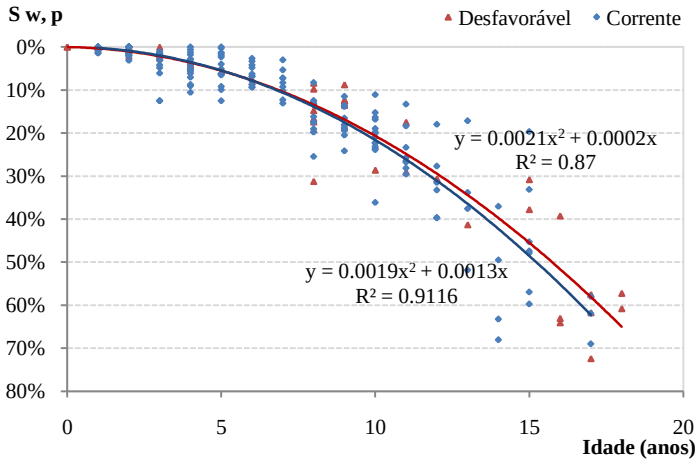


Figura 4.22 - Curvas de degradação em função da proximidade de fontes poluentes

Como se pode observar, os resultados obtidos são, ao contrário do que intuitivamente faz sentido, menos favoráveis para fachadas denominadas por exposição corrente, correspondentes a edifícios em meio urbano com tráfego reduzido a moderado. Provavelmente, a razão prende-se com o facto de todos os casos com exposição desfavorável, se situarem no concelho de Lisboa, a mais de 5 km do mar e com exposição à humidade corrente. Desta forma, apesar de apresentarem exposição mais desfavorável no que se refere à poluição, apresentam melhores condições no que toca à proximidade do mar e à humidade. Embora discutível, parece, assim, existir uma preponderância dos subfactores "humidade" e "proximidade do mar" relativamente ao critério "proximidade de fontes poluentes". Admitindo que a proximidade de fontes de poluentes tem influência na degradação, esta hipótese pode explicar as ligeiras distinções obtidas nas curvas anteriores (Figura 4.20 e 4.21), pois dentro dos casos mais favoráveis no que se refere à humidade e à proximidade do mar, estão englobados os edifícios com exposição à poluição desfavorável, puxando a curva para baixo (degradação mais rápida) e ficando esta mais próxima dos casos referentes a "humidade" e a "proximidade de mar" desfavoráveis.

4.6.3.4 Influência da acção vento-chuva

Relativamente à acção vento-chuva, existem três níveis de degradação, correspondentes às situações de exposição suave, moderada e severa, com índices relativamente elevados de correlação (R^2 de 0.80. 0.94 e 0.86, respectivamente), tal como se ilustra na Figura 4.23. Os dados obtidos parecem, assim, traduzir a

realidade, sendo a degradação rápida para revestimentos sujeitos a uma acção vento-chuva severa, seguidos dos casos expostos a uma acção moderada e, por fim, os edifícios mais baixos, em contexto urbano denso, sujeitos a uma acção suave, sendo esta última a curva mais afastada dos restantes modelos.

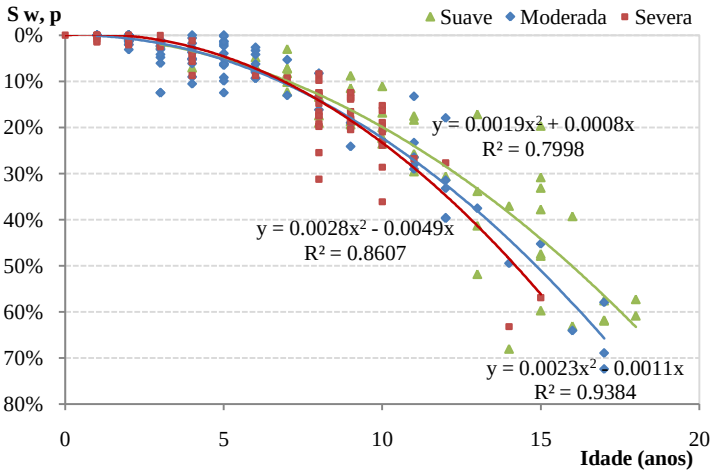


Figura 4.23 - Curvas de degradação em função da acção vento-chuva

Comparando a vida útil obtida dos dois casos extremos (acção suave e severa), encontram-se diferenças da ordem de 0.7 anos. Nos casos em que os revestimentos já atingiram o limite de desempenho, a distinção acentua-se, sendo que os revestimentos sujeitos à acção severa atingem uma degradação de 60% cerca de 2.5 anos antes dos revestimentos expostos a uma acção suave, dando ideia de que esta diferença se acentua quanto maior for a degradação.

4.6.3.5 Influência da orientação solar

Os casos de estudo foram divididos pelos quatro quadrantes principais, sendo os respectivos modelos apresentados na Figura 4.24. Gaspar [200] refere que, em geral, os quadrantes mais agressivos são o Norte e o Poente. No entanto, os dados obtidos não traduzem este padrão, sobretudo no que se refere ao quadrante Norte, onde a degradação dos casos estudados é a menor das quatro categorias.

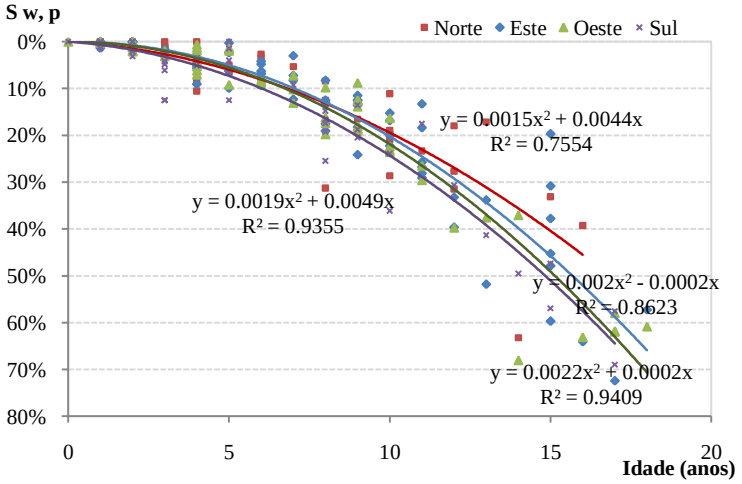


Figura 4.24 - Curvas de degradação em função da orientação da fachada

De acordo com a Figura 4.24, o potencial de degradação classifica-se, por ordem crescente, em Norte, Este, Oeste e Sul, existindo quase uma sobreposição entre as duas últimas curvas de regressão. De acordo

com os resultados de Garrido [2010], os revestimentos expostos a Sul e a Oeste são os que apresentam maiores áreas destacadas, reflectindo a influência da exposição solar, o que pode explicar os resultados obtidos. De facto, de uma forma geral, existe maior incidência (na amostra estudada) de fissuração, destacamentos, alterações de cor e brilho e pulverulência em fachadas expostas a Sul e Poente e de manchas de origem biológica, em fachadas expostas a Norte.

No que se refere à vida útil dos revestimentos em função da orientação, encontram-se diferenças superiores a 1 ano entre fachadas expostas a Sul e a Norte. Os quadrantes Poente e Nascente correspondem a situações intermédias.

4.6.3.6 Influência do tipo de produto

Até agora analisaram-se subfactores relacionados com as condições ambientais exteriores (factor E do método factorial). O tipo de produto de pintura é o primeiro subfactor analisado referente à qualidade dos materiais (factor A do método factorial).

A classificação de revestimentos por pintura por tipo de produto é feita através de três grupos, nomeadamente tintas lisas tradicionais e não tradicionais, tintas texturadas e membranas elásticas. Como referido no capítulo 3, as tintas de silicatos e silicone, por não terem validade estatística devido ao número insuficiente de casos registados, ficam excluídas da presente análise.

Como se pode observar na Figura 4.25, as curvas de degradação encontram-se sobrepostas, não tendo sido possível distinguir diferenças de desempenho em função do tipo de produto. Desta forma, não existem distinções de vida útil encontradas. A partir dos 11 anos, já ultrapassados os limites de desempenho, as diferenças tornam-se mais significativas, com um melhor desempenho diferido das tintas texturadas, seguido das membranas elásticas e, por fim, das tintas lisas, embora a diferença entre estas duas não seja muito significativa.

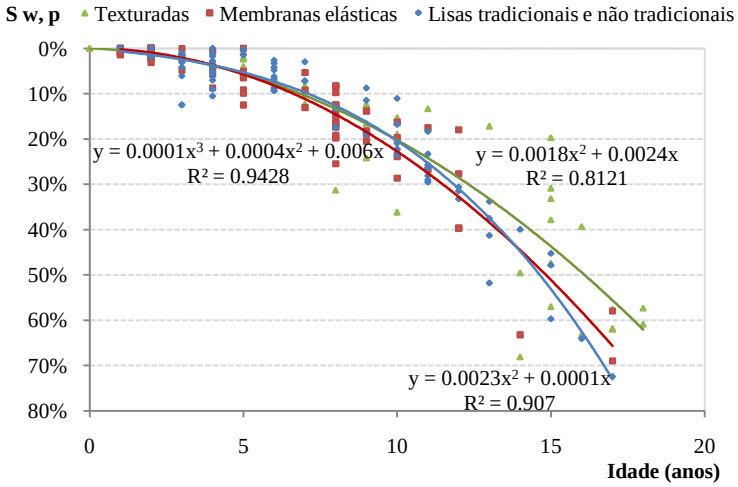


Figura 4.25 - Curvas de degradação em função do tipo de produto

No que se refere à quantificação das diferenças, os valores obtidos indicam que as tintas texturadas atingem uma degradação de 60% 1.5 anos mais tarde do que as tintas lisas tradicionais e não tradicionais.

4.6.3.7 Influência da cor do revestimento

O estudo da cor foi baseado na indicação de alguns autores que sugerem a influência deste factor na durabilidade de fachadas pintadas. Desta forma, foram consideradas quatros categorias em função do coeficiente de absorção solar; a primeira (coeficiente de absorção entre 0.2 e 0.3) refere-se à cor branca, a segunda categoria (coeficiente de absorção entre 0.3 e 0.5) é característica de revestimentos amarelos, cor-de-laranja e cor-de-rosa claros, a terceira categoria (coeficiente de absorção entre 0.5 e 0.7) corresponde a cores como o cor-de-rosa escuro, o verde claro e o azul claro e a última categoria (coeficiente de absorção entre 0.7 e 0.9) é referente a cores como castanho, verde escuro e azul escuro. Devido ao reduzido número de revestimentos (10 casos) pertencentes à quarta classe de cores, esta não foi apresentada nas curvas de degradação.

Como se observa nas curvas de regressão, apresentadas na Figura 4.26, os resultados obtidos são inconclusivos visto que estas se cruzam e sobrepõem, na grande maioria da sua extensão.

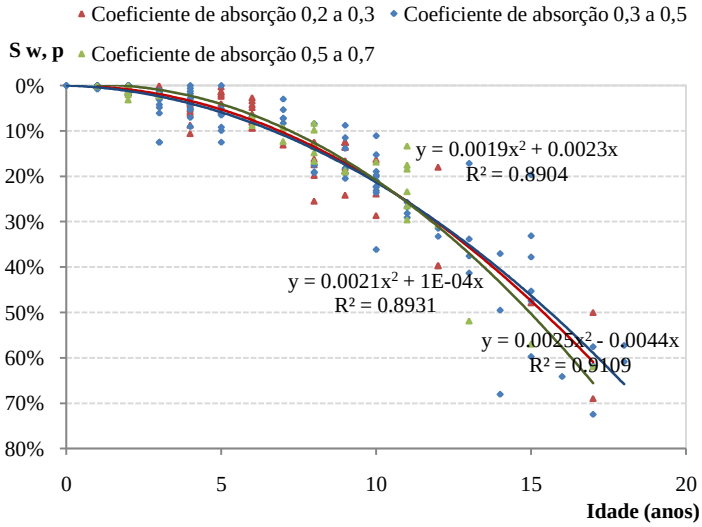


Figura 4.26 - Curvas de degradação em função da cor do revestimento

4.6.3.8 Influência da textura do revestimento

O estudo do parâmetro relativo à textura do revestimento baseia-se em investigações segundo as quais as tintas texturadas apresentam, em geral, maior durabilidade do que as tintas com acabamento liso (capítulo 2), sendo também esta a percepção existente no meio técnico relativamente ao comportamento deste tipo de produto.

As curvas de degradação obtidas, com base nas fachadas estudadas, encontram-se na Figura 4.27, onde se destaca o melhor desempenho das tintas texturadas.

Os modelos apresentados apresentam elevados coeficientes de determinação (R^2 = 0.92 para as tintas de acabamento rugoso e R^2 = 0.87 para as tintas de acabamento liso), traduzindo a sua capacidade em explicar a realidade observada.

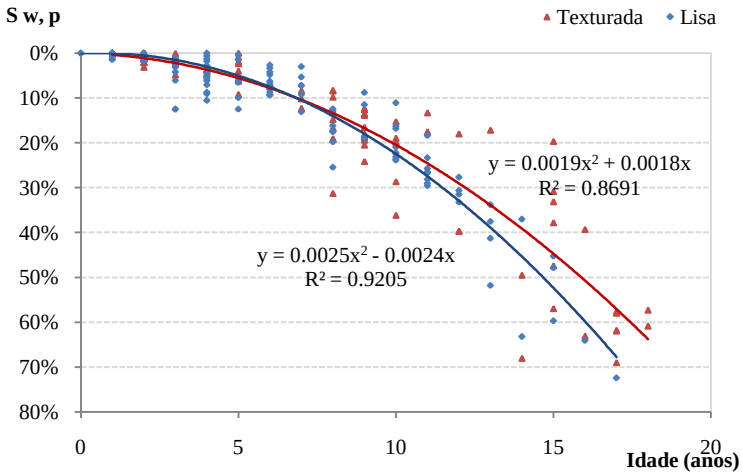


Figura 4.27 - Curvas de degradação em função da textura do revestimento

A distribuição homogénea da amostra em função deste parâmetro também aumenta a fiabilidade dos resultados, consistentes e concordantes com a percepção geralmente aceite relativamente ao comportamento de tintas texturadas.

4.6.3.9 Influência da proximidade do rio

Como referido no capítulo anterior, relativamente aos edifícios situados em Lisboa, distinguiram-se ainda as situações de proximidade do rio das restantes, para verificar se existe influência deste parâmetro. A Figura 4.28 apresenta os resultados obtidos, onde se verifica existir uma influência deste subfactor, embora não muito significativa nos casos estudados. De acordo com o expectável, a degradação é mais rápida em situações a menos de 1 km do rio.

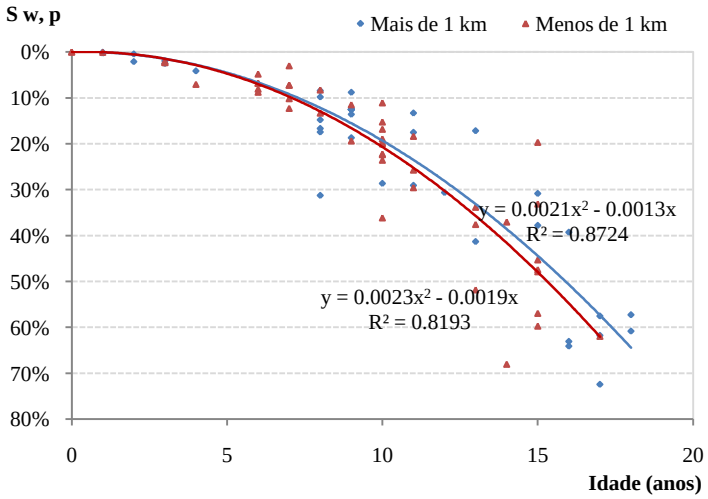


Figura 4.28 - Curvas de degradação em função da proximidade do rio, para os casos situados em Lisboa

4.6.3.10 Influência da preparação da superfície

Por último, apresentados os resultados relativos às condições ambientais e à qualidade dos materiais (factor E e factor A, respectivamente), analisa-se a influência da preparação da superfície, sendo este um subfactor relacionado com o nível de execução (factor C do método factorial).

Consideraram-se duas categorias, nomeadamente repintura sobre uma pintura já existente e pintura directamente sobre o reboco. Devida à falta de informação encontrada, no estudo referente à preparação da superfície foram apenas consideradas 46 fachadas. Desta forma, pelo reduzido número de casos, pode-se pôr em questão a validade estatística dos resultados obtidos na Figura 4.29.

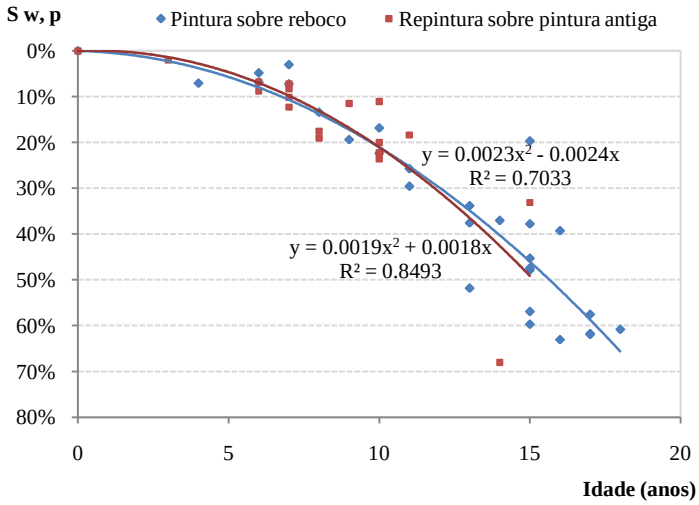


Figura 4.29 - Curvas de degradação em função da preparação da superfície

As curvas obtidas apresentam coeficientes de determinação razoáveis (R^2 = 0.85 para repintura sobre uma pintura já existente e R^2 = 0.70 para pintura directamente sobre o reboco) e são praticamente sobrepostas, embora com um desempenho ligeiramente superior nos casos em que a pintura é aplicada directamente sobre o reboco. Este resultado está de acordo com o esperado pois situações de repintura sobre uma pintura já existente estão associadas a uma maior probabilidade de incompatibilidade de produtos e de piores condições de aderência (capítulo 2).

4.7 Vida útil de referência estimada pelo modelo de regressão simples não-linear

A vida útil de referência pode ser definida de duas formas distintas: graficamente, através da intercepção da curva de degradação e da linha horizontal, correspondente ao nível mínimo de desempenho (método apresentado em 4.4), ou numericamente, resolvendo a equação da curva de regressão em ordem a x para y = 0.20. Assim, estabelecido o nível máximo de degradação de 20% (Figura 4.30), obtém-se uma vida útil de referência de 9.75 anos, isto é, de 10 anos.

Para ilustrar a estreita relação entre a vida útil de referência e os níveis mínimos de aceitação, apresenta-se na Figura 4.30, o valor da vida útil para um limite de desempenho de 30%, correspondente ao valor máximo de aceitação estabelecido por Gaspar [2009], para o caso de rebocos. Assim, obter-se-ia uma vida útil de referência de 12 anos, isto é, 20% mais elevada do que no presente trabalho.

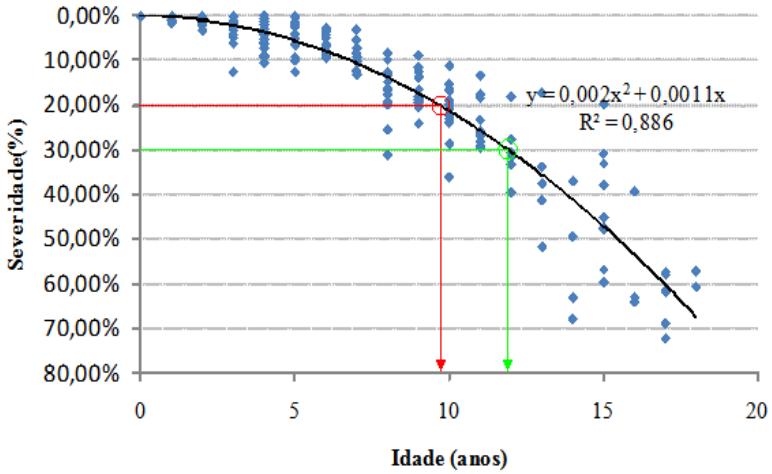


Figura 4.30 - Determinação gráfica da vida útil de referência

Na Tabela 4.16, ilustra-se o caso de estudo (L041) com as coordenadas (idade; severidade) = (10; 20%), correspondendo ao ponto do gráfico mais perto do ponto crítico. A referida fachada não apresenta áreas destacadas e, de uma forma geral, nenhuma anomalia do tipo perda de aderência, mantendo assim a continuidade. No entanto, apresenta, em toda a sua extensão, sujidade superficial uniforme muito intensa e localmente manchas de humidade e fissuração com um padrão moderado. O modelo numérico traduz, assim, adequadamente a percepção da degradação, sendo que esta fachada deveria ser alvo de uma reparação generalizada (repintura) de forma a restabelecer os níveis mínimos de desempenho.

Tabela 4.16 - Caso de estudo com coordenadas (10; 20%)

L041			

Apesar da simplicidade do método exposto, Rudbeck [1999] afirma que a estimativa de uma vida útil de referência é um dos aspectos mais difíceis da metodologia, apesar de poder ser determinada por experiência prévia, investigação científica, regulamentos, normas da construção, informação técnica ou através dos resultados de testes. Relativamente à análise crítica da vida útil de referência encontrada, há a referir:

- o Regulamento Japonês recomenda, para revestimentos de fachadas, vidas úteis iguais ou superiores a 10 anos, encontrando-se assim o presente valor no limite do expectável;

- a garantia dada pela assistência técnica de empresas de produtos de pintura é, geralmente, de 5 anos; embora esta informação não forneça um valor concreto para a vida útil, significa que qualquer problema detectado até à idade referida pode ser da responsabilidade da empresa, nomeadamente do produto ou da sua aplicação;

- de acordo com o artigo 9. º do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), ainda em vigor, as edificações existentes deverão ser reparadas e beneficiadas pelo menos uma vez em cada período de oito anos, com o fim de remediar as deficiências provenientes do seu uso normal e de as manter em boas condições de utilização;

- existem regulamentos em Portugal que obrigam a obras de reparação de fachadas pintadas de 8 em 8 anos; a título de exemplo, refere-se o Edital nº. 24/2011, referente ao Município de Lagos, de 12 de Janeiro de 2011, que refere que todos os proprietários ou equiparados são obrigados, de oito em oito anos, a mandar reparar, pintar ou lavar as fachadas das edificações;

- a ISO 15686 - 1 [2000] define, no caso de elementos não estruturais que, quanto mais difícil for o acesso e a sua reparação, maior deverá ser a vida útil de referência; Hovde [2005] estima assim, para rebocos, uma durabilidade de 15 anos dada a sua fácil acessibilidade e facilidade de reparação, sendo estas características comuns aos revestimentos por pintura.

O valor da vida útil de 10 anos, encontra-se, assim, nos intervalos esperados, tendo uma coerência com a informação existente e com a percepção do meio técnico no que se refere à durabilidade de pinturas de fachadas, estimando intervalos entre 8 e 12 anos. Desta forma, a metodologia desenvolvida e adoptada revela ser uma ferramenta prática na previsão de vida útil de pinturas de fachadas, sendo capaz de fornecer resultados aceitáveis a partir da linha de degradação média da amostra e da definição de um nível mínimo de aceitação.

4.8 Análise de resultados através de regressão múltipla linear

A análise de regressão múltipla permite estudar o comportamento de uma variável dependente (também designada de endógena ou explicada) face a outras variáveis independentes (também designadas de exógenas ou explicativas). Até aqui, os resultados obtidos apenas consideraram uma variável explicativa (idade) e uma variável dependente (severidade), tendo sido a influência dos diferentes factores de degradação considerados analisada através da associação de curvas de regressão simples não-lineares independentes a cada variável (4.6.3).

Como referido ao longo do presente trabalho, a severidade normalizada é influenciada por diversos factores de degradação que, conjuntamente, contribuem para o final da vida útil dos revestimentos. Interessa assim analisar a acção simultânea dos diferentes parâmetros considerados, de forma a determinar de que forma é que cada um deles influencia a severidade. Desta forma, o principal objectivo deste subcapítulo é o desenvolvimento de um modelo de regressão múltipla linear, de forma a antever-se o comportamento da severidade (variável dependente) em função do conhecimento dos diferentes factores de degradação (variáveis independentes). Pretende-se assim analisar quais são as variáveis que melhor contribuem para explicar a variabilidade da degradação das pinturas, podendo-se assim estabelecer a distinção hierárquica entre os diferentes factores.

O modelo de regressão múltipla linear é traduzido genericamente pela expressão (4.8):

$$y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + ... + b_p.x_p + \varepsilon = b_0 + \sum_{i=1}^{p} b_i x_i + \varepsilon \quad (4.8)$$

em que,

y - variável dependente (estimada pelo modelo);

x_i - variáveis independentes (i = 1, 2.., p);

p - número de variáveis independentes;

b_0 - constante do modelo;

b_i - coeficiente de regressão correspondente à variável independente x_i (i = 1, 2…, p);

ε - erros aleatórios do modelo; representam a diferença entre os valores observados e os valores previstos (ou estimados) da população.

4.8.1 Pressupostos do modelo e métodos de verificação

A expressão (4.8) é válida sob as seguintes hipóteses básicas:

- a variável independente deve ser representada por números reais que não contenham nenhuma perturbação aleatória;
- o número de observações (n) deve ser superior ao número de parâmetros estimados (k = p +1);
- os resíduos são variáveis aleatórias com valor esperado nulo e variância constante, isto é, $E(e_j) = 0$ e $Var(e_j) = \sigma^2$ (homocedasticidade do modelo);
- os resíduos são variáveis aleatórias com distribuição normal, isto é, $e_j \sim N(0, \sigma^2)$;
- os resíduos não são correlacionados, isto é, são independentes sob condição de normalidade;
- não deve existir nenhuma relação exacta entre quaisquer variáveis independentes (ausência de multicolinearidade).

Após a construção do modelo, os referidos pressupostos devem ser verificados, existindo diferentes métodos de verificação para cada uma das referidas hipóteses. De seguida, são abordados os métodos utilizados no âmbito do presente trabalho. Estes podem simplificadamente dividir-se em duas etapas distintas: a análise de resíduos e a análise da existência de multicolinearidade.

4.8.1.1 Análise de resíduos

Os resíduos são dados pela diferença entre o valor observado e o valor estimado pelo modelo da amostra analisada (estes diferem dos erros aleatórios por apenas considerarem uma amostra aleatória de uma população maior, neste caso a totalidade das fachadas pintadas em Lisboa):

$$e_j = y^*_j - y_j \quad (4.9)$$

em que,

j - número de observações;

e_j - resíduo correspondente à observação j (j = 1, 2, ..., n);

y^*_j - valor observado na observação j (j = 1, 2, ..., n);

y_j - valor estimado para a observação j (j = 1, 2, ..., n).

Foram referidos quatro pressupostos relativamente aos resíduos que se podem resumir da seguinte forma:

- seguem uma distribuição normal;
- têm média zero;
- têm variância constante;
- são independentes.

A verificação da normalidade dos erros pode ser verificada usando um gráfico de probabilidade normal (*Normal probability plot)*. Existem dois gráficos de probabilidade normal: o *Normal P-P Plot* representa a probabilidade que seria de esperar se a distribuição fosse normal em função da probabilidade observada dos erros e o *Normal Q-Q Plot* representa o quantil de probabilidade esperado se a distribuição fosse normal em função dos resíduos. Desta forma, se os respectivos pontos obtidos se aproximarem de uma recta, pode-se concluir que os erros seguem uma distribuição normal (Figuras 4.31 e 4.32).

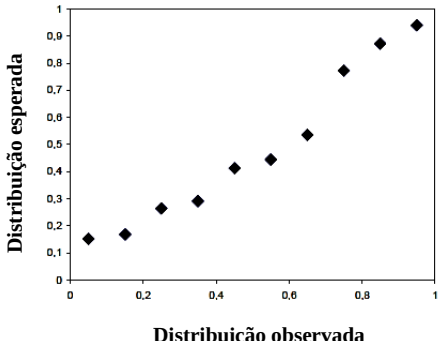


Figura 4.31 - *Normal P-P Plot*: os pontos encontram-se situados em torno de uma recta

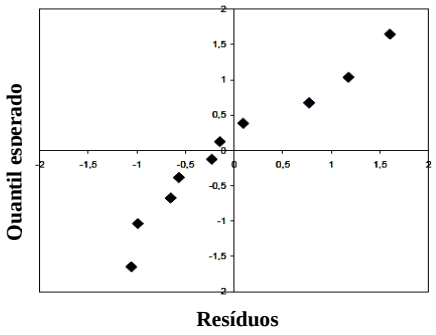


Figura 4.32 - *Normal Q-Q Plot*: os pontos encontram-se situados em torno de uma recta

Os pressupostos de os erros terem média nula e variância constante podem ser verificados graficamente, representando os resíduos em função dos valores estimados y da variável dependente ou em função de uma das variáveis independentes x_i. A sua verificação considera-se satisfeita se o padrão de dispersão dos pontos seguir uma banda horizontal (mancha de largura uniforme) centrada no valor zero (Figura 4.33). Quando os resíduos não se comportam de forma aleatória, ou seja, seguem um padrão, a condição de independência não é satisfeita.

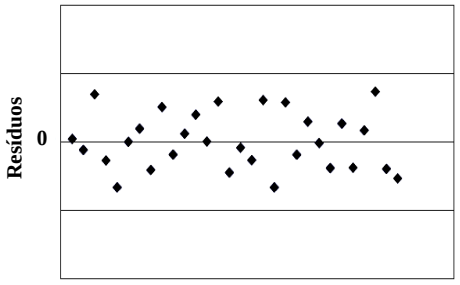


Figura 4.33 - Distribuição dos resíduos em função da variável dependente ou de uma variável independente

Por fim, a verificação da independência é usualmente feita através do teste de Durbin-Watson à correlação entre resíduos sucessivos.

Se houver independência, a magnitude de um resíduo não influencia a magnitude do resíduo seguinte. Neste caso, a correlação entre resíduos sucessivos é nula ($\rho = 0$). Para aferir se a relação entre dois resíduos consecutivos é estatisticamente significativa, é realizado um teste de hipóteses, sendo estas:

H_0: $\rho = 0$ - existe independência;
H_1: $p \neq 0$ - existe dependência.

A estatística d de Durbin-Watson é comparada com um limite superior (d_U) e inferior (d_L). O limite superior e o inferior são dados pelas tabelas definidas por Savin e White [1977], cujos valores dependem do nível de significância, do número de variáveis independentes (excluindo a constante) e do número de casos da amostra. Compara-se assim o valor obtido para a estatística d com os valores críticos da tabela de Durbin-Watson, d_L e d_U, e toma-se a decisão recorrendo à Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Estatística d e valores críticos da tabela de Durbin-Waston

d	$[0; d_L[$	$[d_L; d_u[$	$[d_u; 4 - d_u[$	$[4 - d_u; 4 - d_L[$	$[4 - d_L; 4[$
Decisão	Rejeitar H_0 Dependência	Nada se pode concluir	Não rejeitar H_0 Independência	Nada se pode concluir	Rejeitar H_0 Dependência

Só quando $d \in [d_u; 4 - d_u[$, se pode concluir que os diferentes valores de e_i são independentes.

4.8.1.2 Análise da existência de multicolinearidade

A multicolinearidade existe quando estão presentes variáveis com elevada correlação entre si. A sua resolução passa pela eliminação de uma das variáveis correlacionadas.

A sua verificação passa pela análise da matriz de correlações bivariadas ou do valor do *variance inflactor factor* (VIF). Se a matriz de correlações bivariadas apresentar valores superiores a 0.7 ou VIF > 5, isso significa que existem problemas de multicolinearidade no modelo.

Na prática, este problema pode também ser detectado se os sinais dos coeficientes de regressão forem incoerentes com a lógica da realidade (na presente análise, tal significa que a severidade diminui com o aumento da idade, por exemplo) ou a significância estatística das variáveis consideradas explicativas é reduzida.

4.8.2 Selecção e construção do modelo

No presente trabalho, recorreu-se ao *software* SPSS (*Statistical Package for Social Science*), assim como ao pacote de análise de dados de regressão do *Excel*.

No primeiro, seleccionou-se o método *Stepwise*, sendo este um método híbrido entre o método *Forward*, em que o modelo inicial apenas inclui a constante b_0, e o método *Backward*, em que o modelo inicial considera todas as variáveis independentes seleccionadas. Neste modelo, são revistos os pressupostos básicos da regressão, sendo excluídas as variáveis que não são significativas ou explicativas da variável

dependente. De acordo com Silva et al. [2011b], citando Leung et al. [2001] são também eliminados os efeitos de multicolinearidade.

O *Excel* utiliza o método *Enter*, criando um modelo com todas as variáveis independentes seleccionadas, sendo algumas delas, posterior e eventualmente, excluídas pelo utilizador. Neste processo de exclusão, não é suficiente remover a variável ou as variáveis que não são significativas; é necessário testar o modelo mais uma vez visto que variáveis que são significativas num modelo podem deixar de o ser noutro (e vice-versa). Este método de cálculo do *Excel* parte do princípio de que os pressupostos do modelo são satisfeitos, não fornecendo dados para a sua verificação.

Desta forma, o SPSS foi utilizado para se encontrar o modelo de regressão mais adequado, tendo-se posteriormente recorrido ao *Excel* para confirmar os resultados obtidos pela análise anterior. Apesar de o SPSS fornecer dados mais completos, que permitem a verificação dos pressupostos do modelo, o *Excel* resulta por vezes numa análise mais detalhada e mais documentada relativamente a alguns parâmetros, pelo que se analisa os resultados dados pelos dois *softwares*.

As variáveis independentes seleccionadas correspondem aos factores de degradação considerados relevantes na análise de regressão simples linear. Assim, ficam excluídos do presente modelo:

- a cor dos revestimentos e o tipo de produto, devido à sobreposição de curvas obtidas na respectiva modelação;

- a preparação da superfície, devido ao reduzido número de casos de estudo com informação disponível;

- a proximidade de fontes poluentes, devido ao facto das curvas obtidas serem incoerentes com o que seria expectável.

O primeiro passo na construção do modelo consiste na quantificação das variáveis qualitativas consideradas, nomeadamente humidade, proximidade do mar, acção vento-chuva, orientação da fachada e textura do revestimento. Cada uma destas foi decomposta em categorias ou valores qualitativos (4.6.3), sendo necessário convertê-las em valores numéricos para serem inseridas como *inputs* no modelo. Existem diferentes formas de conversão; a mais simples seria considerar uma escala de conversão linear (no caso de três categorias) ou binária (no caso de duas categorias).

Na presente análise e construídos os modelos de regressão simples não-linear, optou-se por associar cada categoria a um valor que representa o quociente entre a vida útil prevista (encontrada por intercepção da linha correspondente a S_w = 20% e da respectiva curva de degradação) e a vida útil de referência (9.75 anos). Os valores são apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Valores adoptados na conversão de variáveis qualitativas em quantitativas

Humidade	Escala qualitativa	Corrente		Desfavorável	
	Escala quantitativa	1.03		0.95	
Proximidade do mar	Escala qualitativa	Menos do que 1 km	Entre 1 e 5 km	Mais do que 5 km	
	Escala quantitativa	0.94	0.96	1.03	
Orientação da fachada	Escala qualitativa	Norte	Sul	Este	Oeste
	Escala quantitativa	1.05	0.93	1.04	0.93
Acção vento-chuva	Escala qualitativa	Suave	Moderada	Severa	
	Escala quantitativa	1.04	1.02	0.96	
Textura do revestimento	Escala qualitativa	Rugosa		Lisa	
	Escala quantitativa	1.01		0.96	

4.8.3 Interpretação de resultados

Nesta secção, para além da apresentação de todos os resultados obtidos pelo modelo de regressão múltipla linear, procede-se a uma síntese explicativa do seu significado.

O modelo de regressão obtido determina os coeficientes de forma a minimizar o erro cometido, sendo este dado pelo somatório do quadrado da diferença entre os valores observados da severidade e os valores estimados pelo modelo:

$$\sum_{j=1}^{n}(e_j)^2 = \sum_{j=1}^{n}(y_j^* - y_j)^2 \quad (4.10)$$

Foram testados vários modelos, com constante igual e diferente de zero, tendo-se concluído que o modelo que conduz a melhores resultados adopta $b_0 \neq 0$. Opta-se por não apresentar todos os modelos testados, mas apenas o que alcança melhores resultados, definido pelo método *Stepwise*. Este considera uma variável dependente (severidade) e três variáveis independentes (idade, proximidade do mar e orientação da fachada). A equação de regressão obtida tem assim a seguinte expressão genérica:

$$y = b_0 + b_1.x_1 + b_2.x_2 + b_3.x_3 = b_0 + \sum_{i=1}^{3} b_i x_i \quad (4.11)$$

4.8.3.1 Significância global do modelo

A significância do modelo é testada através de duas hipóteses:

H_0: $b_0 = b_1 = \ldots = 0$;

H_1: $\epsilon \exists$ i: $b_i \neq 0$ (isto é, existe pelo menos um coeficiente diferente de 0).

A hipótese nula (H_0) considera assim que nenhuma das variáveis independentes incluídas no modelo explica a variabilidade da variável dependente. A hipótese alternativa (H_1) considera que pelo menos uma das variáveis incluídas no modelo contribui significativamente para a explicação da variável dependente. Como existem sempre duas hipóteses num teste, quando se rejeita H_0, sabe-se imediatamente que se aceita H_1 e, quando se decide H_0, sabe-se que se rejeita H_1. Nesta análise de significância, podem ser cometidos dois tipos de erro:

- erro do tipo I: em que se rejeita a hipótese nula sendo ela verdadeira;
- erro do tipo II: em que se aceita a hipótese nula sendo ela falsa.

Existindo sempre uma possibilidade de cometer estes erros, pode-se associar-lhes uma probabilidade de ocorrência. Estas probabilidades são dadas por:

- P (erro do tipo I) = P (Rejeitar H_0| H_0 é verdadeira);
- P (erro do tipo II) = P (Não rejeitar H_0| H_0 é falsa).

O teste óptimo é aquele em que estas duas probabilidades têm um valor mínimo. Contudo, é matematicamente impossível minimizá-las simultaneamente. De facto, quando P (erro do tipo I) diminui, P (erro do tipo II) aumenta.

Na prática, os testes estatísticos visam controlar os erros do tipo I, através do nível de significância (α), que é a máxima probabilidade aceite de se rejeitar a hipótese nula sendo ela verdadeira, isto é, estabelece-se que P (erro do tipo I) = P (Rejeitar H_0| H_0 é verdadeira) = α. Usa-se, regra geral um nível de significância de 5% ou de 10%.

Os resultados da tabela Anova (parte 1) permitem testar a hipótese nula (H_0), através do teste F, que representa o rácio entre a variância explicada pelo modelo e a variância não explicada pelo modelo.

Antes da sua análise, explica-se o significado de cada um dos parâmetros que permite a definição do valor F:

- graus de liberdade residuais ($gl_{residual}$): corresponde ao número de observações menos o número de parâmetros estimados (incluindo a constante b_0): $gl_{residual}$ = n - k = n - p - 1 (4.12), em que n é o número de observações, k é o número de parâmetros estimados (incluindo a constante b_0) e p é o número de variáveis independentes;

- graus de liberdade da regressão ($gl_{regressão}$): corresponde ao número de variáveis independentes: $gl_{regressão}$ = p (4.13);

- soma de quadrados residual ($SQ_{residual}$): este valor representa o quadrado da diferença entre os valores previstos e observados; assumindo que a média dos resíduos é nula, a sua expressão apresenta a forma da expressão (4.9): $SQ_{residual} = \sum_{j=1}^{n} e_j = \sum_{j=1}^{n} (y_j^* - y_j)^2$ (4.14);
- soma de quadrados regressão ($SQ_{regressão}$): este valor representa o quadrado da diferença entre os valores previstos pelo modelo e a média dos valores observados: $SQ_{regressão} = \sum_{j=1}^{n} (y_j - \overline{y^*})^2$ (4.15);

- soma de quadrados total (SQ_{total}): este valor representa a soma dos valores anteriores; representa assim o quadrado da diferença entre os valores observados e o valor médio dos valores observado: $SQ_{total} = \sum_{j=1}^{n}(y_j^* - \overline{y^*})^2$ (4.16);

- variância residual ($MQ_{residual}$): representa a variância explicada pelo modelo; calcula-se pela relação entre a soma de quadrados residual ($SQ_{residual}$) e os graus de liberdade residuais ($gl_{residual}$):

$$MQ_{residual} = \frac{SQ_{residual}}{gl_{residual}} \quad (4.17)$$

- variância da regressão ($MQ_{regressão}$): representa a variância explicada pelo modelo; calcula-se pela relação entre a soma de quadrados residual ($SQ_{regressão}$) e os graus de liberdade residuais ($gl_{regressão}$):

$$MQ_{regressão} = \frac{SQ_{regressão}}{gl_{regressão}} \quad (4.18)$$

O teste F é dado pelo quociente da variância da regressão ($MQ_{regressão}$) e da variância residual ($MQ_{residual}$):

$$F = \frac{MQ_{regressão}}{MQ_{residual}} = \frac{SQ_{regressão}}{SQ_{residual}} \times \frac{gl_{residual}}{gl_{regressão}} \quad (4.19)$$

Pela expressão (4.19), o número de graus de liberdade residual ($gl_{residual}$) e de regressão ($gl_{regressão}$) são geralmente denominados de graus de liberdade do numerador e do denominador, respectivamente.

Pela estatística, sendo F o quociente de duas variâncias, este tem distribuição de *Snedecor:* F ~ F (p, n - p - 1). Pode-se assim testar a significância a um nível α, comparando o valor obtido com o valor que se encontra tabelado; o teste de hipóteses referido toma a forma seguinte:

H_0: $F_{obtido} < F_{p,\ n\ -\ p\ -1\ ,\alpha}$, isto é, as variâncias são estatisticamente iguais ($b_0 = b_1 = \ldots = 0$);

H_1: $F_{obtido} \geq F_{p,\ n\ -\ p\ -1\ ,\alpha}$, isto é, as variâncias são variâncias são estatisticamente diferentes (existe pelo menos um coeficiente diferente de 0).

A probabilidade de a variável F ser superior ao valor calculado, para os graus de liberdade (p) e (n - p - 1), encontra-se tabelada, sendo dada por $P (F > F_{obtido}) = p$. Esta probabilidade corresponde ao menor nível de significância que conduz à rejeição de H_0. Em alternativa, pode-se assim calcular o F de significância (p) e comparar o valor obtido com a probabilidade α de a variável F ser superior ao F correspondente a um nível de significância α ($P (F \geq F_{p,\ n\ -\ p\ -1\ ,\alpha}) = \alpha$). Se este valor for menor do que o nível de significância adoptado, rejeita-se H_0 ao nível α (Figura 4.34).

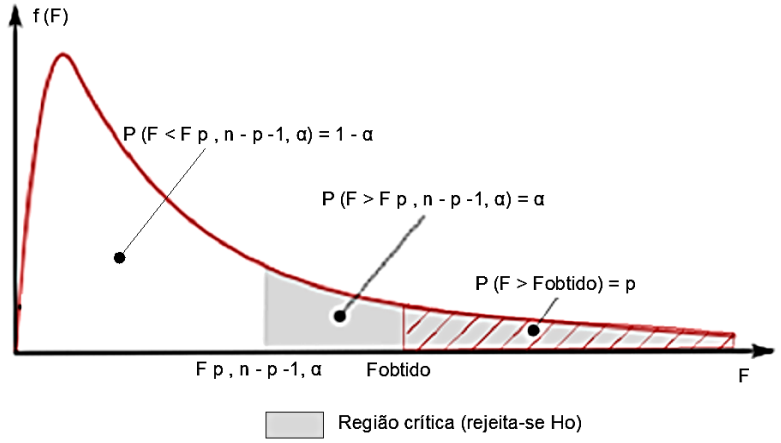


Figura 4.34 - Distribuição de Snedecor correspondente a (p, n - p - 1) graus de liberdade e representação esquemática da região crítica e das probabilidades α e p

Na presente análise (Tabela 4.19), sendo p um *output* da tabela Anova (calculado através do comando *DISTF* (F_{obtido}, *p, n - p - 1) do Excel*), opta-se por comparar o valor desta probabilidade (F de significância) com o nível de significância pretendido. Adoptando-se um nível de significância de 10% e sendo $p = 4.10632^{-83} < \alpha = 0.10$, rejeita-se H_0 ao nível de 10%.

Tabela 4.19 - Tabela Anova do modelo de regressão múltipla linear (Parte 1): análise global da significância do modelo de regressão

	gl	SQ	MQ	F	F de significância (p)
Regressão	3	5.321106633	1.773702211	354.300939	4.10632^{-83}
Residual	216	1.081339718	0.005006202		
Total	219	6.402446351			

Por outro lado, sendo p a probabilidade correspondente ao menor nível de significância que conduz à rejeição de H_0, (1 - p) representa o nível de confiança. Pode então afirmar-se que, com um nível de confiança de $(1 - 4.10632^{-83}) \times 100 \approx 100\%$, pelo menos uma das variáveis consideradas no modelo é significativa.

Pode-se assim concluir que o modelo global obtido é significativo; no entanto, isto não significa que todos as variáveis consideradas sejam explicativas. Desta forma, interessa agora avaliar individualmente cada um dos parâmetros considerados.

4.8.3.2 Significância de cada parâmetro considerado e coeficientes de regressão

A importância individual de uma variável independente x_i, incluída num modelo de regressão múltipla linear com p variáveis independentes, pode ser avaliada efectuando um teste de significância ao respectivo parâmetro b_i, de acordo com as seguintes hipóteses:

H_0: $b_i = 0$;

H_1: $b_i \neq 0$.

Desta forma, rejeitar a hipótese H_0 significa que a variável x_i tem uma participação importante no modelo obtido.

Assumindo que os resíduos seguem uma distribuição normal, isto é, $e_j \sim N(\mu, \sigma^2)$, demonstra-se que a variável t segue uma distribuição t de *Student* com n - p - 1 graus de liberdade (em que n é o número de observações e p é o número de variáveis independentes), sendo t dado pela seguinte expressão:

$$t = \frac{b_i}{S(b_i)} \sim t_{(n-p-1)} \qquad (4.20)$$

em que,

b_i - valor estimado do coeficiente de regressão correspondente à variável independente i;

$S(b_i)$ - estimativa do erro padrão associado ao coeficiente de regressão correspondente à variável independente i.

Para se efectuar um teste bilateral a um nível de significância α, compara-se o valor de t obtido com o valor tabelado de $t_{n-p:1-\alpha/2}$ referente à distribuição inversa t de Student com n - p graus de liberdade. O teste de hipóteses corresponde a rejeitar-se H_0 se $|t_{obtido}| > t_{n-p-1:1-\alpha/2}$ ou, equivalentemente, se $p = P(|t| > t_{obtido}) < \alpha = P(|t| > t_{n-p-1:1-\alpha/2})$ (Figura 4.35).

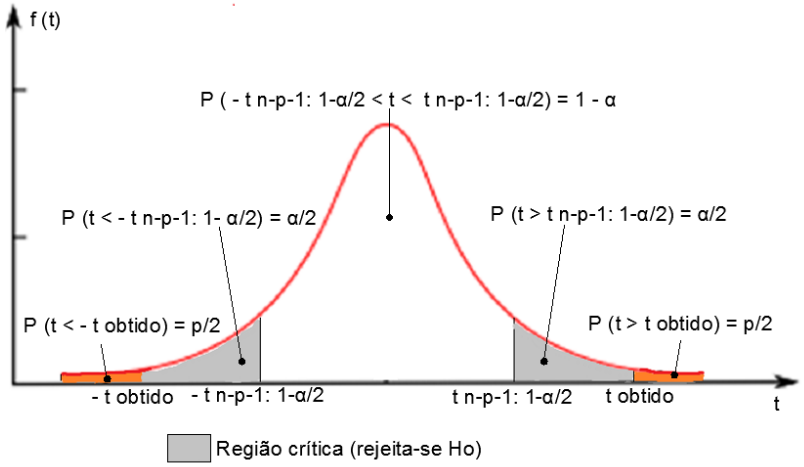


Figura 4.35 - Distribuição de t de Student correspondente a (n - p - 1) graus de liberdade e representação esquemática da região crítica e das probabilidades α/2 e p/2

A probabilidade p é um *output* da tabela *Anova*, podendo também ser consultada nas tabelas t de *Student* com n - p graus de liberdade ou calculada através do comando *DISTT(t_{obtido}, n - p - 1, 2)* do *Excel*.

A Tabela 4.20 apresenta os resultados obtidos, permitindo estudar a significância de cada parâmetro, assim como determinar a expressão do modelo de regressão múltipla linear.

Tabela 4.20 - Tabela Anova do modelo de regressão múltipla linear (Parte 2): coeficientes de regressão e análise individual da significância de cada coeficiente de regressão

	Coeficientes (b_i)	Erro-padrão ($S(b_i)$)	Stat t	Valor p	Inferior 90.0%	Superior 90.0%
Interceptar (b_0)	0.4734	0.1715	2.7602	0.0063	0.1901	0.7568
Idade (x_1)	0.0353	0.0011	31.1710	6.802^{-82}	0.0334	0.0372
Proximidade do mar (x_2)	-0.2618	0.1438	-1.8207	0.0700	-0.4993	-0.0243
Orientação da fachada (x_3)	-0.3175	0.0906	-3.5028	0.0006	-0.4672	-0.1677

Adoptando-se um nível de significância α = 10%, conclui-se que todos os resultados pertencem à região crítica em que p < α, rejeitando-se assim a hipótese nula (H_0). Desta forma, todos os coeficientes são

estatisticamente significativos, pelo que todas as variáveis apresentadas são explicativas da variável dependente (severidade). Este resultado seria expectável visto que, de acordo com o método *Stepwise*, as variáveis que não obedecem a este critério foram excluídas do modelo.

Por outro lado, à semelhança do teste F, sendo p a probabilidade correspondente ao menor nível de significância que conduz à rejeição de H_0, (1 - p) representa o nível de confiança. Pode-se então afirmar que:

- com um nível de confiança de $(1 - 6.802\times10^{-82}) \times 100 \approx 100\%$, a variável x_1 (idade) é estatisticamente significativa;

- com um nível de confiança de $(1 - 0.0700) \times 100 \approx 93\%$, a variável x_2 (proximidade do mar) é estatisticamente significativa;

- com um nível de confiança de $(1 - 0.0006) \times 100 \approx 100\%$, a variável x_3 (orientação da fachada) é estatisticamente significativa.

Desta forma, pode-se concluir que a severidade depende das três variáveis independentes; hierarquicamente tem-se: a idade, a orientação da fachada e a proximidade do mar.

Por outro lado, são também apresentadas na Tabela 4.20 estimativas por intervalo de 90% de confiança para cada coeficiente de regressão. Estes intervalos são estimados da seguinte forma:

$$IC = [b_i - S(b_i) \times t_{n-p-1:1-\alpha/2};\ b_i + S(b_i) \times t_{n-p-1:1-\alpha/2}] \quad (4.21)$$

O conceito de intervalo de confiança surge por se estar a estimar um coeficiente de regressão referente a uma amostra, retirada aleatoriamente de uma população maior. Analisando-se outros casos de estudo, os coeficientes de regressão poderiam assumir outros valores (inferência estatística). Estabelecer um intervalo de confiança para este parâmetro significa que este abrange o verdadeiro valor de b_i (referente a toda a população) com uma confiança de 90%. Isto significa que, quanto maior é o nível de confiança pretendido, maior é o respectivo intervalo.

O intervalo de confiança permite assim expressar a incerteza associada à estimativa pontual, dando indicação da precisão da mesma. A amplitude do intervalo de confiança para cada variável depende dos valores do erro-padrão $S(b_i)$; quanto maior é este valor, maior é a amplitude do intervalo ou, por outras palavras, menor é a precisão da estimativa. Assim, pode-se retirar a mesma conclusão já referida a propósito da significância do modelo; a precisão da estimativa segue a seguinte ordem decrescente: idade, orientação da fachada e proximidade do mar.

Por fim, a Tabela 4.18 apresenta os valores esperados para os coeficientes de regressão, permitindo estabelecer a expressão do modelo construído:

$$y = 0.4734 + 0.0353\ x_1 - 0.2618\ x_2 - 0.3175\ x_3$$

ou seja,

Severidade = 0.4734 + 0.0353 Idade - 0.2618 Proximidade do mar - 0.3175 Orientação da fachada (4.22)

O sinal de cada coeficiente reflecte a escala adoptada: para a variável "idade", o mesmo assume um valor positivo (quanto maior a idade, maior a severidade); no caso das variáveis "proximidade do mar" e "orientação da fachada", o valor do coeficiente de regressão é negativo, isto é, quanto maior o seu valor numérico, menor a severidade. A escala quantitativa adoptada na definição destes parâmetros estabelece que, quanto mais desfavoráveis forem as condições de exposição, menor é o seu valor numérico (definido pela relação entre a vida útil estimada e a vida útil de referência); desta forma, o sinal negativo encontra-se de acordo com o expectável (quanto mais desfavorável for a orientação da fachada e maior a proximidade do mar, maior é a severidade).

No Anexo VI, são apresentados, para cada observação, os resultados observados (y^*_j) e estimados (y_j) pelo modelo, assim como os valores residuais ($y^*_j - y_j$) e os valores residuais padrão ($y^*_j - y_j$)/ σ (em que σ é o erro padrão do modelo, calculado pela expressão 4.26 apresentada mais à frente).

4.8.3.3 Estatística de regressão

Tendo-se concluído que o modelo obtido, assim como todas as variáveis independentes são significativos, analisa-se a qualidade estatística da regressão. Antes de se analisar os resultados obtidos, faz-se uma breve revisão dos parâmetros relevantes:

- R múltiplo (coeficiente de correlação de *Pearson*): define a correlação entre a variável independente (severidade) e as variáveis dependentes (idade, orientação da fachada, proximidade do mar e humidade); o coeficiente de correlação varia de -1 a 1, correspondendo nestes casos a uma correlação linear perfeita; este valor calcula-se através da seguinte expressão:

$$R = \sqrt{\frac{SQ_{regressão}}{SQ_{total}}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{220}(y_j - \overline{y^*})^2}{\sum_{j=1}^{220}(y_j^* - \overline{y^*})^2}} \quad (4.23)$$

- R^2 (coeficiente de determinação): mede a proporção da variabilidade da variável dependente (severidade) que pode ser explicada pelo modelo de regressão obtido, avaliando o grau de explicação do modelo em função das 4 variáveis independentes consideradas (este valor relaciona-se com o valor F da tabela Anova (Parte 1)); é calculado através da seguinte expressão:

$$R^2 = \frac{SQ_{regressão}}{SQ_{total}} = 1 - \frac{SQ_{residual}}{SQ_{total}} = \frac{\sum_{j=1}^{220}(y_j - \overline{y^*})^2}{\sum_{j=1}^{220}(y_j^* - \overline{y^*})^2} \quad (4.24)$$

- uma desvantagem referente ao coeficiente de determinação reside no facto de este parâmetro, para a mesma amostra, crescer à medida que se aumenta o número de variáveis independentes incluídas no modelo, não tendo em conta o número de graus de liberdade perdidos em cada parâmetro estimado; desta forma surge o conceito de coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) que apenas aumenta

se a adição de uma nova variável levar a um melhoria da explicação do modelo, definindo-se pela seguinte expressão:

$$R^2_{ajustado} = 1 - \frac{SQ_{residual} / gl_{residual}}{SQ_{total} / n-1} \quad (4.25)$$

- o erro padrão (σ): representa o desvio padrão do termo do erro; é dado pela seguinte expressão:

$$\sigma = \sqrt{MQ_{residual}} = \sqrt{\frac{SQ_{regressão}}{gl_{residual}}} \quad (4.26)$$

A Tabela 4.21 apresenta os parâmetros relativos ao modelo proposto. No que se refere ao coeficiente de determinação de Pearson (R), a sua análise revela uma correlação muito forte (R = 0.91) entre as variáveis, podendo-se afirmar que a correlação entre os valores estimados e observados é muito alta. Relativamente ao coeficiente de determinação ajustado, o valor de $R^2_{ajustado}$ = 0.83 permite concluir que a 83% da variabilidade da severidade é explicada pela idade, pela orientação solar e pela proximidade do mar, devendo-se 17% a factores não incluídos no modelo.

Tabela 4.21 - Estatística de regressão do modelo obtido

Estatística de regressão	
R múltiplo (R)	0.9116
Quadrado de R (R^2)	0.8311
Quadrado de R ajustado ($R^2_{ajustado}$)	0.8288
Erro-padrão (σ)	0.0708
Observações (n)	220

Os valores referidos são coerentes com o que seria expectável visto que a degradação depende de inúmeros factores, sendo que a equação que traduz o modelo obtido tem apenas em conta três parâmetros.

Os resultados obtidos podem ser interpretados como um sinal de que a metodologia adoptada é capaz de produzir resultados satisfatórios no âmbito da previsão de vida útil, sendo os factores de degradação considerados na presente análise relevantes e, consequentemente, explicativos da degradação de pinturas de fachadas.

4.8.3.4 Verificação dos pressupostos do modelo

Como referido, os resultados obtidos assumem que os pressupostos básicos são verificados, sendo assim apenas válidos após a sua verificação.

Nesta secção, pretende-se assim verificar se as hipóteses enumeradas em 4.9.1. são satisfeitas no presente modelo.

4.8.3.4.1 Análise de resíduos

A análise de resíduos é realizada em três etapas: verificação da distribuição normal dos resíduos, análise da média e da variância e estudo da independência dos resíduos.

4.8.3.4.1.1 *Distribuição Normal dos resíduos*

Para analisar se a variável aleatória "resíduos" tem uma distribuição Normal, usa-se um gráfico de probabilidade Normal *P-P Plot* (obtido no PASW), que representa a probabilidade que seria de esperar se a distribuição fosse normal em função da probabilidade observada (Figura 4.36).

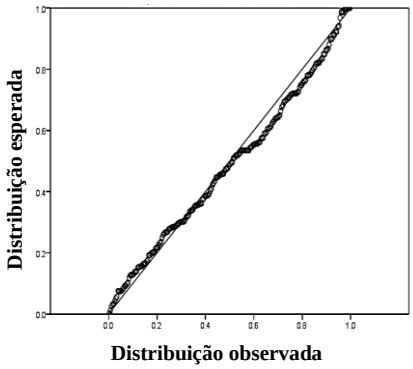


Figura 4.36 - Gráfico *Normal P-P Plot* do modelo (obtido no PASW)

A sua análise revela que todos os pontos do gráfico se situam em torno de uma recta, podendo-se então concluir que os resíduos seguem uma distribuição normal tal que $e_j \sim N(\mu, \sigma^2)$.

4.8.3.4.1.2 *Média e variância dos resíduos*

Na presente análise, a média e a variância dos resíduos são analisadas através da representação dos resíduos em função do valor da variável independente "idade" (Figura 4.37), que é um *output* na análise de dados em *Excel* se se escolher a opção "Desenho de valores residuais". Poderia também ser utilizada a representação dos resíduos em função da variável dependente "severidade" ou de qualquer outra variável independente.

A análise da Figura 4.37 mostra que o valor esperado dos resíduos se aproxima do valor nulo, podendo concluir-se que $E(e_j) \approx 0$. No entanto, no que se refere à variância, a mancha de pontos não tem uma largura totalmente uniforme; a partir de 15 anos de idade, existem vários pontos que contêm um resíduo elevado em relação aos restantes da amostra. Tal facto pode ser causado por dois motivos.

O primeiro prende-se com a existência de pontos atípicos, também denominados de *outliers*, que são pontos que não caracterizam a amostra. A sua presença pode ser verificada no PASW (*Casewise diagnostics*), considerando-se, regra geral, que quando os resíduos padrão (quociente entre os resíduos e o erro-padrão do modelo) assumem valores superiores a 3, isso significa que os respectivas observações são *outliers*. Na Figura 4.38 apresenta-se assim a distribuição dos resíduos-padrão em função da variável independente idade. A sua análise revela que existem três casos para os quais os valores dos resíduos-padrão têm um valor superior a 3.

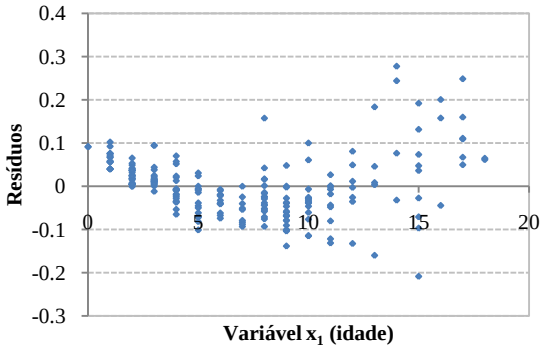


Figura 4.37 - Distribuição dos resíduos em função da variável independente x_1 (idade)

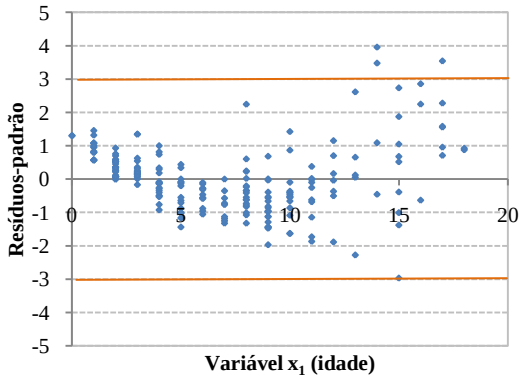


Figura 4.38 - Distribuição dos resíduos-padrão em função da variável independente x_1 (idade)

A Tabela 4.22, obtida no PASW, mostra que estes *oultiers* são referentes às observações 4, 27 e 146 que correspondem aos casos L004, L0025 e L116, respectivamente. Poderia assim analisar-se um novo modelo sem estes pontos, de forma a serem comparadas as características explicativas deste com o modelo obtido, que inclui estes pontos.

Tabela 4.22 - Análise da existência de outliers (*Casewise diagnistics* no PASW)

Casewise Diagnostics

Observação	Resíduos-padrão	Valor observado (severidade)	Valor estimado (severidade)	Residual
4	3.513	0.7245	0.4759	0.2486
27	3.924	0.6802	0.4026	0.2776
146	3.448	0.6323	0.3883	0.2440

Os referidos casos de estudo (L004, L0025 e L116) apresentam níveis de degradação muito elevados (> 63%), sendo que o modelo prevê valores mais baixos para a severidade (valores estimados). Tal facto pode indicar que o modelo é mais eficaz para prever a severidade correspondente a casos de menor nível de degradação. De facto, o modelo obtido por regressão múltipla linear traduz um velocidade constante de degradação em função da idade, da orientação solar e da proximidade do mar. Como, para cada caso, os valores numéricos que traduzem a orientação da fachada e a proximidade do mar não variam ao longo da vida útil, pode-se concluir que o modelo múltiplo linear assume uma velocidade de degradação constante ao longo do tempo. No entanto, a degradação tem tendência para acelerar ao longo da vida útil. Os resultados obtidos podem assim ser interpretados como um sinal de que, a partir de certa idade, a degradação é melhor definida por curvas não-lineares, sendo as do tipo polinomial capazes de traduzir o aumento da velocidade de degradação ao longo do tempo (de acordo com os modelos obtidos através de regressão simples não-linear).

O segundo motivo que pode estar na origem da observação de elevados resíduos referentes a determinadas observações, pode passar pelo facto de não constarem no modelo uma ou várias variáveis independentes que influenciam significativamente a variável dependente e, portanto, também os erros. Se esta razão for válida na presente análise e parecendo existir uma tendência para os resíduos aumentarem com a idade, isso significa que poderá não constar no modelo uma variável de acção inicialmente lenta (no intervalo em que os resíduos são reduzidos) mas cujo efeito de faz sentir cumulativamente ao longo do tempo (momento em que os resíduos começam a apresentar valores elevados). Esta análise implica o estudo de mais factores de degradação.

Apesar do referido, o gráfico obtido também não revela a existência de um padrão definido dos resíduos; trata-se de uma situação intermédia entre a mancha uniforme e a existência de um padrão. Desta forma, no âmbito da presente análise, aceita-se o resultado obtido.

4.9.3.4.1.3. Independência dos resíduos

A verificação da independência é verificada através da estatística de *Durbin-Watson*. Este valor pode ser consultado no "*Model Summary*" resultante da análise no PASW. Na Tabela 4.23, é apresentado o valor referente ao presente modelo.

Tabela 4.23 - Resultado d de Durbin-Watson do modelo obtido

Durbin-Watson (d)
1.795

Recorrendo às tabelas definidas por Savin e White [1977], para n = 200 casos de estudo (valor limite de observações das tabelas) e k' = 3 variáveis independentes, obtém-se: um limite inferior $d_L = 1.643$ e $d_U = 1.704$. A decisão baseia-se assim nos valores da Tabela 4.24.

Como $d \in [d_u; 4 - d_u[= [1.704; 2.296[$, não se rejeita H_0, ou seja, pode-se concluir que os resíduos são independentes.

Tabela 4.24 - Valores críticos de Durbin-Watson do modelo obtido

d	$[0; d_L[= [0; 1.643[$	$[d_L; d_u[= [1.643; 1.704[$	$[d_u; 4 - d_u[= [1.704; 2.296[$	$[4 - d_u; 4 - d_L[= [2.296; 2.357[$	$[4 - d_L; 4[= [2.357; 4[$
Decisão	Rejeitar H_0 Dependência	Nada se pode concluir	Não rejeitar H_0 Independência	Nada se pode concluir	Rejeitar H_0 Dependência

4.8.3.4.2 Análise da existência de multicolinearidade

A verificação da existência de multicolinearidade passa pela análise bivariada da matriz de correlações entre variáveis, obtida no PASW (Tabela 4.25).

Como referido, valores de correlações superiores a 0.7 indicam geralmente problemas de multicolineridade entre duas variáveis consideradas. A Tabela 4.25 permite assim concluir que não existe dependência linear entre quaisquer variáveis independentes consideradas no modelo.

Tabela 4.25 - Matriz de correlações entre variáveis do modelo obtido

Modelo		Idade	Orientação da fachada	Proximidade do mar
Correlações	Idade	1.000	-0.160	-0.344
	Orientação da fachada	-0.160	1.000	0.083
	Proximidade do mar	-0.344	0.083	1.000

A análise dos valores do VIF (*variance inflactor factor*), apresentados na Tabela 4.26, confirma que não existe qualquer relação exacta entre duas ou mais variáveis independentes consideradas (VIF < 5).

Tabela 4.26 - Valor do VIF (*variance inflactor factor*) para cada variável explicativa do modelo obtido

Variável independente	VIF
Idade (x_1)	1.157
Orientação da fachada (x_2)	1.027
Proximidade do mar (x_3)	1.135

4.8.4 Considerações finais referentes ao modelo de regressão múltipla linear

Neste modelo foram analisadas seis variáveis explicativas: idade, proximidade do mar, humidade, orientação da fachada, acção vento-chuva e textura do revestimento. A quantificação das categorias, realizada para cada factor de degradação, baseou-se nos resultados obtidos nos modelos de regressão simples não-linear. As variáveis consideradas explicativas da degradação foram apenas três: idade, proximidade do mar e orientação da fachada, apesar de se ter aferido nos modelos de regressão simples não-linear que as restantes variáveis excluídas têm influência na severidade.

Analisando as categorias adoptadas relativas aos parâmetros "humidade" e "proximidade do mar" (3.5.2), os critérios adoptados estão de certa forma ligados: a maioria dos revestimentos que apresenta uma exposição à humidade desfavorável (situados nos concelhos de Cascais e Oeiras) está também a menos do que 1 km do mar ou entre 1 a 5 km. Apenas os casos de estudo na Amadora têm exposição à humidade desfavorável e situam-se a mais do que 5 km. A existência de uma relação linear entre as duas variáveis humidade e proximidade do mar pode ser analisada na Tabela 4.27, obtida através do pacote de análise de dados de correlação entre variáveis do *Excel.*

A análise da Tabela 4.27 revela que o resultado referente à correlação entre as duas referidas variáveis parece traduzir esta informação de carácter não totalmente independente, podendo-se concluir que estas apresentam uma relação de dependência linear, com um o coeficiente de correlação de 0.95. Desta forma, a exclusão da variável humidade no modelo prende-se com a sua dependência linear com o factor proximidade do mar.

Tabela 4.27 - Matriz de correlação bivariada entre os factores de degradação analisados

	Idade	Humidade	Acção vento chuva	Proximidade do mar	Orientação da fachada	Texturado revestimento
Idade	1.000					
Humidade	0.361	1.000				
Acção vento chuva	0.250	0.088	1.000			
Proximidade do mar	0.336	0.946	0.053	1.000		
Orientação	0.140	-0.017	0.101	-0.031	1.000	
Textura	-0.161	-0.066	-0.001	-0.133	0.080	1.000

No que se refere às outras duas variáveis excluídas do modelo (acção vento-chuva e textura do revestimento), estas não apresentam qualquer relação linear com os restantes factores. Poderia assim ser expectável que fossem incluídas no modelo de regressão múltipla linear. No entanto, a sua exclusão não significa que estas não tenham influência na degradação mas que, conjuntamente com as outras variáveis, não têm significância estatística suficiente para serem consideradas explicativas da degradação (com um nível de significância de 10%).

4.9 Vida útil de referência estimada pelo modelo de regressão múltipla não-linear

Analisada a significância global do modelo e das variáveis independentes consideradas, estudada a explicação do mesmo e verificados os pressupostos da regressão múltipla linear, concluí-se que a severidade de degradação pode ser explicada através das três variáveis independentes: idade, proximidade do mar e orientação solar, através da expressão (4.22) já apresentada:

Severidade = 0.4734 + 0.0353 Idade - 0.2818 Proximidade do mar - 0.3175 Orientação da fachada (4.22)

Desta forma, é possível, à semelhança do que foi feito no modelo de regressão simples não linear, estimar a vida útil de referência. A diferença reside no facto de no modelo de regressão múltipla existirem três variáveis. A estimativa da vida útil de referência (VUR) passa pela definição da mesma equação em função da idade, estabelecendo-se um nível de severidade de 20%, tal como se apresenta a seguir:

$$VUR = \frac{(0.20 - 0.4734 + 0.2818\ \text{Proximidade do mar} + 0.3175\ \text{Orientação da fachada})}{0.0353} \quad (4.27)$$

Para cada observação, definido o valor numérico que traduz a exposição dos revestimentos a cada variável independente (proximidade do mar e orientação da fachada), é possível estimar-se a idade expectável para uma severidade de 20%. O valor da vida útil de referência consiste na média dos valores obtidos para cada observação, existindo assim também um valor máximo, um valor mínimo, uma amplitude e um desvio padrão da vida útil de referência. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.25.

Tabela 4.28 - Resumo dos indicadores estatísticos para a vida útil de referência estimada através do modelo de regressão múltipla linear

Indicador estatístico	Valores obtidos (anos)
Média da vida útil de referência	8.5
Máximo da vida útil de referência	9.3
Mínimo da vida útil de referência	7.6
Amplitude da vida útil de referência	1.6
Desvio padrão da vida útil de referência	0.54
Intervalo de confiança da média da vida útil de referência a 90%	[8.4, 8.5]

A vida útil de referência estimada (8.5 anos) é inferior à obtida através do método de regressão simples não-linear (9.75 anos). No entanto, a sua ordem de grandeza mantém-se coerente com as percepções existentes relativamente à durabilidade de pinturas.

4.10 Enquadramento com a investigação de Gaspar [2009]

A investigação de Gaspar [2009], referente à vida útil de rebocos, estima uma vida útil para o referido material de 21 anos, correspondente a um nível mínimo de desempenho de 70%, isto é, um nível de degradação máximo de 30%. O modelo obtido é apresentado na Figura 4.39.

Neste ponto, interessa referir que a vida útil de rebocos não é independente do comportamento de revestimentos por pintura, pois existem influências recíprocas no comportamento dos dois elementos. Para exemplificar a constatação anterior, o tipo de material de suporte - classificado por Gaspar [2009] em quatro categorias: bastardo, monomassa, marmorite e cimentício - e a sua preparação antes da aplicação da pintura - limpeza e humidade - são factores de degradação de revestimentos por pintura, no sentido em que condicionam a durabilidade dos mesmos; por outro lado, uma das exigências requeridas para as pinturas, além do aspecto estético, é a protecção do suporte. Desta forma, quando mais degradado estiver o acabamento, sobretudo se este apresentar perda de estanqueidade devido a presença de fissuração e destacamentos, mais acelerada será a deterioração do reboco.

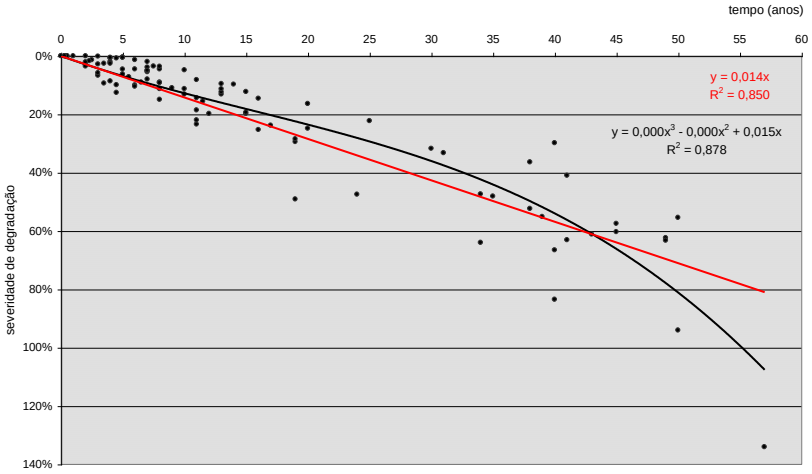


Figura 4.39 - Modelo de degradação de rebocos [Gaspar, 2009]

Por outro lado, funcionando a pintura como acabamento do suporte, qualquer intervenção nos rebocos, seja esta uma limpeza - no caso de manchas - ou uma substituição pontual / total - no caso de fissuras ou destacamentos - passa, obrigatoriamente, pela intervenção nos revestimentos por pintura. Nesta perspectiva, além do comportamento dos rebocos não ser independente do revestimento por pintura, a sua manutenção também não o é. Desta forma, interessa optimizar as acções de manutenção realizadas para o conjunto reboco / acabamento.

Ilustrando o referido para o presente trabalho e para vidas úteis de pinturas de 10 anos e de rebocos de 21 anos, apresenta-se na Figura 4.40 uma possível estratégia de manutenção, no que se refere aos intervalos temporais entre reparações.

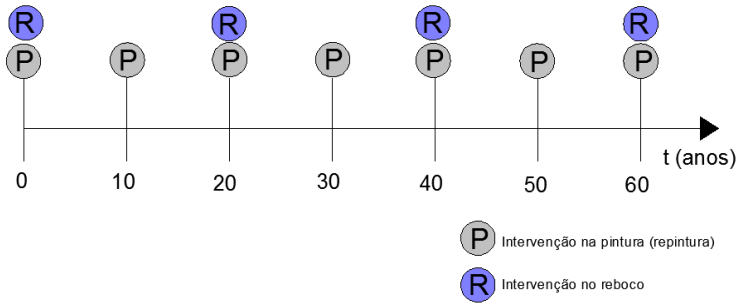


Figura 4.40 - Representação esquemáticas das intervenções em rebocos e em pinturas, ao longo do tempo

Desta forma, a optimização poderia passar por uma repintura e por uma manutenção do reboco de 20 em 20 anos e, dentro deste intervalo, por outra repintura, de forma a serem sempre cumpridos os requisitos mínimos de desempenho dos dois materiais. Na prática, cada uma destas acções deveria ser especificada, associando-se um custo a cada uma delas, de forma a estabelecer-se a custo de ciclo de vida do conjunto suporte / acabamento.

4.11 Conclusões

O modelo para a estimativa da via útil de elementos da construção que se apresenta baseia-se no levantamento visual de anomalias, da quantificação destas e da transposição dos resultados assim obtidos para o modelo proposto. A recolha dos dados e a combinação da informação referente às anomalias detectadas, em condições de serviço, foram convertidas em dados numéricos - para posterior inclusão em modelos de degradação - através da definição de um indicador que traduz o nível de degradação global dos revestimentos por pintura (modelo de Gaspar [2002] e [2009]).

O método de quantificação de Gaspar [2002], que entra apenas em conta com o nível de degradação e o número das anomalias, não se revelou capaz de traduzir a realidade física observada, sendo que a curva de regressão apresenta um andamento que não corresponde ao potencial de degradação de pinturas de fachadas em condições de serviço.

Através do método de Gaspar [2009], que estima a severidade com base nos níveis de degradação de cada grupo de anomalias, com a sua extensão e com o seu peso relativo, os resultados obtidos revelaram-se promissores, permitindo identificar e quantificar as principais variáveis para o desenvolvimento de metodologias para a estimativa da vida útil.

Uma análise por tipo de anomalia mostra que a degradação é, nos primeiros anos de vida útil dos revestimentos, devida sobretudo a anomalias do tipo manchas e alterações cromáticas mas, a partir de um certa idade, a severidade deste tipo de defeitos tende a manter-se constante, sendo as restantes anomalias as responsáveis por elevados níveis de degradação, traduzindo assim um relação estreita entre condição elevada e estas últimas manifestações.

No se refere à influência dos factores condicionantes, Gaspar [2009] aconselha que os resultados obtidos num trabalho, em condições particulares de exposição, não sejam directamente extrapolados para outros contextos. Relativamente aos resultados da amostra analisada, estes foram, de uma forma geral, coerentes com o que seria expectável.

Na análise individual dos factores de degradação através de modelos de regressão simples não-linear, os mais condicionantes, dentro dos considerados, foram a humidade, a acção vento / chuva, a proximidade do mar, a orientação solar e a textura dos revestimentos.

A análise simultânea dos factores de degradação revelou que a severidade pode ser explicada por três variáveis independentes através de um modelo de regressão múltipla não-linear com um nível de significância de 10%, com a seguinte relação hierárquica entre variáveis: idade, orientação da fachada e proximidade do mar.

Existem outros factores relevantes na durabilidade, como é o caso da espessura da película ou relacionados com as condições de execução, que não foram analisados devido à falta de registos disponíveis ou à dificuldade em estimar dados sem recorrer a análises de laboratório, que escapam ao âmbito deste trabalho.

Por outro lado, a definição do nível mínimo de desempenho e da relação entre severidade e condição padecem de alguma subjectividade inerente, podendo estes critérios ser adaptados a outros perfis de análise, levando a resultados distintos dos obtidos. Com base nos dados adoptados, foi possível estimarem-se vidas úteis de referência com base na curva de degradação média da amostra (modelo de regressão simples não-linear) e na expressão do modelo de regressão múltipla linear. Os valores obtidos, 9.75 e 8.5 anos respectivamente, encontram-se dentro do intervalo esperado, representando cerca de metade da vida útil de referência de rebocos de 21 anos, estabelecido por Gaspar [2009].

Por último, a abordagem proposta é complementar de estudos direccionados para o desempenho de materiais que, através de ensaios em laboratório e testes de envelhecimento acelerado, avaliam as suas propriedades físicas. A metodologia aplicada parte assim de uma avaliação visual da degradação, sem exigir outros meios para além daqueles de que qualquer inspector pode dispor no âmbito de acções correntes de gestão de manutenção do parque edificado, exigindo poucos recursos (de tempo e custo) e permitindo a sua fácil aplicação. A este propósito, Tolman e Tolman [2003] afirmam, que no segmento da construção, e mais especificamente no domínio da manutenção de edifícios, importa desenvolver ferramentas simples, relativamente intuitivas e de rápida aplicação, considerando-se, assim, cumprido este objectivo.

Capítulo 5

Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1 Considerações finais

O presente trabalho insere-se no âmbito da vida útil das construções, com o objectivo de desenvolver uma metodologia para a estimativa de vida útil de pinturas de fachadas. A investigação é baseada na recolha de dados referentes a edifícios em serviço, realizada através de inspecções visuais. A análise de dados consiste na conversão dos dados de campo em índices numéricos de quantificação da degradação, posteriormente integrados em modelos matemáticos que expressam a deterioração dos elementos considerados ao longo do tempo. A informação obtida é apresentada sob a forma de gráficos de degradação, constituindo uma abordagem determinística ao estudo da durabilidade.

A determinação da vida útil dos materiais e componentes da construção reveste-se de extrema importância pois permite, além do aumento do desempenho destes - através de uma maior compreensão das características dos materiais e dos seus factores de degradação - a determinação dos custos globais das construções, a comparação de diferentes soluções técnicas e a determinação dos períodos óptimos para efectuar operações de manutenção, viabilizando assim uma utilização mais racional dos elementos da construção.

A escolha de pinturas de fachadas prende-se com aspectos diversos, desde a sua importância como solução de revestimento de fachadas, à sua relação directa com a qualidade do espaço público, ao seu papel na protecção dos rebocos e das alvenarias - constituindo a primeira barreira entre as construções e o meio envolvente - e à complexidade dos fenómenos de degradação que lhe estão associados, sendo um elemento muito susceptível à deterioração.

Os resultados da aplicação desta metodologia demonstraram a sua capacidade em fornecer ferramentas analíticas capazes de traduzir a realidade física observada permitindo, por um lado, a modelação de desempenho e a estimativa da vida útil de pinturas e, por outro, a análise da influência dos vários factores de degradação considerados no desempenho diferido do elemento em estudo.

No presente capítulo, apresenta-se um resumo das conclusões retiradas no decorrer das diferentes etapas desta investigação e sugerem-se desenvolvimentos futuros no contexto da vida útil e da durabilidade de pinturas, da sua estimativa e respectiva sistematização de informação, com o intuito de melhorar a metodologia proposta.

5.2 Conclusões gerais

Ao longo desta investigação, foi ilustrada a natureza do trabalho necessário para desenvolver uma metodologia de vida útil de pinturas. Existem diferentes conclusões relevantes, referentes aos diversos passos seguidos e, por fim, concretamente relativas ao modelo proposto.

5.2.1 Conclusões parciais

A investigação desenvolvida na presente dissertação pode dividir-se em três etapas distintas: o enquadramento do tema proposto (compreensão do material e identificação das suas anomalias), o trabalho de campo e o modelo para a estimativa de vida útil.

O enquadramento do tema proposto corresponde ao desenvolvimento preliminar, necessário à aplicação prática da metodologia desenvolvida. Esta etapa engloba dois aspectos fundamentais: a descrição do ciclo de vida do material - desde a sua composição, aos tipos de produtos existentes no mercado e à tecnologia de aplicação em obra (cada um destes é discutido na perspectiva da durabilidade) - e a identificação, descrição, classificação e quantificação (por níveis) das anomalias que afectam as pinturas de fachadas. A referida pesquisa reúne assim a informação necessária à compreensão do material, que serve de base à etapa seguinte, procurando diminuir o nível de subjectividade das inspecções.

Após o estudo e a compilação das anomalias que afectam as pinturas, é possível concluir que:

- os tipos de anomalias identificados agrupam as grandes famílias dos defeitos mais significativos e correntes, não esgotando, porém, todos os problemas que podem afectar os revestimentos por pintura;

- existem quatro principais grupos de anomalias que afectam as pinturas: manchas / alterações cromáticas, fissuração, perda de aderência e perda de coesão; embora alguns autores defendam uma classificação em apenas dois grupos (anomalias estéticas e funcionais), neste trabalho considera-se que as anomalias, embora com pesos diferentes (manchas e alterações cromáticas mais ligadas a diminuição da qualidade visual), contribuem no seu conjunto para a diminuição da durabilidade, sendo esta de carácter estético ou funcional; este aspecto perde alguma importância na presente investigação pois não se especifica qual o critério que deixa de ser cumprido, abordando-se a degradação como uma sinergia de manifestações patológicas que, em conjunto, culminam no final da vida útil do elemento;

- cada um dos grupos genéricos de anomalias engloba diversas manifestações possíveis de defeitos que podem ocorrer, para os quais se apresenta uma descrição genérica, exemplos visuais, as causas que podem estar na sua origem e a quantificação da respectiva condição;

- na definição dos níveis de degradação, adoptam-se escalas visuais e físicas para a quantificação da deterioração de cada anomalia, tendo por base a sua fácil aplicação e a simplicidade do método;

- no trabalho desenvolvido, não se distinguem mecanismos de degradação independentes para cada anomalia detectada, uma vez que importa recolher informação sobre degradação não com o objectivo de definir técnicas de intervenção para resolução de problemas, mas para posterior integração numa metodologia de estimativa de vida útil.

A metodologia de recolha de dados constitui uma espécie de manual técnico de inspecções visuais de fachadas que pretende sistematizar a informação recolhida referente a revestimentos por pintura. No decorrer do seu desenvolvimento, procurou-se, à semelhança de Gaspar [2009], atingir um equilíbrio entre o rigor da informação recolhida, por um lado, e uma utilização racional e proporcionada dos meios técnicos e humanos, por outro, de forma a permitir a sua efectiva utilização por técnicos ligados à construção em operações correntes de gestão e manutenção de edifícios do parque edificado.

Os dados resultantes do levantamento visual das fachadas foram registados na ficha de inspecção elaborada, de forma a sistematizar e a organizar a informação recolhida. Esta contém as variáveis de campo necessárias à definição do nível global de degradação das fachadas e à análise da degradação em função dos factores de degradação considerados, constituindo assim uma base de dados de pinturas em serviço. Cada fachada analisada tem uma ficha de inspecção própria, onde constam os *inputs* do método de previsão de vida útil posteriormente desenvolvido, sendo estes:

- data da mais recente intervenção na fachada (repintura);
- orientação da fachada;
- proximidade do mar;
- proximidade do rio;
- proximidade de fontes poluentes;
- acção vento / chuva;
- exposição à humidade;
- tipo de produto;
- textura do revestimento;
- cor e brilho da pintura;
- área das anomalias, por tipo e por condição.

Para cada um destes factores, foram estabelecidos critérios de classificação, com vista à definição de subgrupos, correspondentes, por exemplo, às situações favorável, corrente e desfavorável. A partir destes dados, é possível caracterizar a amostra e estudar diferentes cenários de variação da degradação em pinturas. Foram ainda recolhidos outros dados relativos às fachadas analisadas que, embora não analisados na perspectiva da sua influência na durabilidade da amostra, são referentes a parâmetros relevantes para a sua caracterização ou constituem aspectos relevantes na definição de critérios de classificação na quantificação dos factores de degradação considerados, como é exemplo o tipo de envolvente e a altura dos edifícios na definição da exposição à acção vento / chuva.

Com base na informação recolhida e definidos os critérios de classificação das diferentes variáveis, é possível caracterizar a amostra (160 edifícios correspondentes a 220 fachadas) nos seguintes pontos:

- os edifícios situam-se maioritariamente nos concelhos de Lisboa, Cascais e Oeiras (91% dos casos), sendo a maior parte em Lisboa (40%);

- a maioria dos edifícios é de habitação (67%) e de estrutura compacta (81%);

- a maior parte dos edifícios analisados (43%) é de baixa altura (até 2 pisos), sendo a área média das fachadas estudadas - neste estudo, entende-se por "área" a porção de fachada efectivamente pintada - de 60 m^2;

- no que se refere à proximidade do mar, 20% encontram-se a menos de 1 km, 32% entre 1 e 5 km e cerca de metade (48%) a mais de 5 km;

- relativamente à exposição à humidade, a amostra encontra-se bem distribuída, sendo que 47% têm exposição corrente e 53% exposição desfavorável;

- a distribuição da amostra em função da acção vento / chuva revela que 22% têm uma exposição suave, 45% uma exposição moderada e 33% uma exposição severa;

- o parâmetro "proximidade a fontes poluentes" é o que apresenta maior heterogeneidade na sua distribuição, sendo que apenas 21% dos casos correspondem a situações desfavoráveis;

- a idade média da amostra, correspondente à data da última repintura, é de 6 anos; 29% dos revestimentos têm menos de 4 anos, 27% têm entre 4 e 8 anos, 29% apresentam idades entre os 8 e os 12 anos e 16% tem mais de 12 anos;

- a distribuição das fachadas em função da orientação é relativamente regular para todos os quadrantes;

- as pinturas aplicadas são sobretudo tintas lisas (40%), seguidas de membranas elásticas (38%) e, por fim, tintas texturadas (22%); dentro das tintas lisas, um estudo mais detalhado revela que a maioria é lisa tradicional (63%), cerca de um terço são tintas lisas não tradicionais (27%), sendo que as tintas de silicatos e silicone representam apenas 10% dos revestimentos estudados;

- do ponto de vista da cor, a maioria (50%) apresenta cores entre o amarelo, o cor-de-laranja e o cor-de-rosa claro e cerca de um terço (27%) cor branca ; as cores mais escuras têm assim menor predominância;

- por fim, relativamente à textura, a distribuição é regular: 56% apresentam acabamento liso e 44% acabamento rugoso.

A distribuição da amostra em função dos referidos factores é condicionante nos resultados obtidos nos modelos, pois cada um dos parâmetros de degradação considerado tem por objectivo diferenciar comportamentos diferenciados em função deste, funcionando como filtros que reúnem edifícios com características comuns. Desta forma, quanto mais uniforme for a sua distribuição, mais fiáveis são os resultados obtidos (maior validade estatística).

A última etapa da presente investigação consiste no desenvolvimento de uma metodologia de previsão de vida útil de revestimentos por pintura e na sua aplicação à amostra seleccionada. A ideia subjacente à metodologia proposta é a conversão dos dados de campo em indicadores numéricos, que tenham significado físico e que sejam capazes de traduzir a degradação dos elementos ao longo do tempo. Conceptualmente, considera-se que a degradação corresponde à perda de desempenho, pelo que a indicação sobre a evolução daquela permite conhecer a perda de desempenho ao longo da vida útil dos revestimentos.

A definição dos indicadores globais de degradação permite assim a quantificação dos resultados obtidos através do levantamento visual da deterioração de pinturas, no âmbito de inspecções técnicas de fachadas, tendo sida seguidas duas abordagens distintas: o modelo de Gaspar [2002] e o modelo de Gaspar [2009].

O modelo de Gaspar [2002] entra apenas em conta com o número de anomalias detectadas e a respectiva condição. O modelo obtido, apesar de apresentar um coeficiente de determinação relativamente elevado ($R^2 = 0.69$), não se revelou capaz de traduzir a realidade física observada, penalizando os revestimentos que se encontram em bom estado de conservação e beneficiando os revestimentos com níveis de degradação moderados a elevados.

O modelo desenvolvido por Gaspar [2009], com o intuito de melhorar o anteriormente proposto, para o caso específico de rebocos, define três indicadores da degradação: a extensão da degradação (E), a extensão ponderada da degradação (E_w) e a severidade normalizada da degradação (S_w).

De entre os indicadores propostos, destaca-se a severidade de degradação de fachadas (S_w), considerado aquele que melhor define o nível de degradação global de uma fachada e o que melhor ilustra o desenvolvimento de anomalias nas fachadas. Este entra em conta com três variáveis fundamentais:

- a extensão de cada anomalia;
- o nível de condição de cada anomalia;
- a ponderação relativa entre anomalias.

No presente trabalho, para o cálculo deste indicador, foram adoptadas variantes à investigação de Gaspar [2009], no que se refere a duas das três variáveis referidas:

- o sistema classificativo das anomalias foi definido especificamente para revestimentos por pintura, tendo-se adoptado escalas físicas mas também visuais de classificação, tendo por base as normas de quantificação existentes e os objectivos do trabalho proposto;

- relativamente aos coeficientes de ponderação das anomalias, foram testados vários cenários, optando-se pelo que se considera alcançar melhores resultados (diminuição do peso das anomalias do tipo manchas / alterações cromáticas e aumento do peso das anomalias do tipo perda de aderência);

- por fim, relativamente à questão da sobreposição de anomalias, considerou-se (contrariamente ao referido autor) esta possibilidade em anomalias do mesmo grupo, reflectindo assim o que acontece na realidade, sobretudo no que se refere a manchas e alterações cromáticas.

Definida a severidade da degradação e conhecida a idade do revestimento para cada caso de estudo, foi então possível construir uma nuvem de pontos contendo a globalidade da amostra estudada. Através de técnicas estatísticas, fez-se então o ajuste de curvas de degradação lineares e polinomiais ao gráfico obtido, representando a perda de desempenho das pinturas ao longo do tempo. A modelação da degradação através de regressão simples não-linear assume assim duas formas distintas: através de curvas de degradação e numericamente, através da sua expressão matemática.

O modelo de regressão simples não-linear obtido (R^2 = 0.89) revelou-se eficaz no provimento de ferramentas para estimativa de vida útil, tendo a sua configuração um desenvolvimento convexo, que expressa a tendência dos revestimentos em padecerem de anomalias de desenvolvimento lento mas cujo efeito se faz sentir cumulativamente ao longo do tempo.

O modelo de regressão múltipla linear obtido ($R^2_{ajustado}$ = 0.90) revelou a possibilidade de a severidade ser expressa linearmente em função da idade, da orientação da fachada e da proximidade do mar. Esta conclusão assume importância pois, de acordo com Silva et al. [2010], uma das críticas apontadas ao método factorial é de que não permite a distinção hierárquica entre os diferentes factores.

Para melhor compreender de que forma é que cada anomalia contribui para a degradação, construíram-se gráficos de degradação associados a cada anomalia, podendo-se concluir que, nos primeiros anos de vida útil, a degradação se dá essencialmente sob a forma de manchas / alterações cromáticas, que tendem a estabilizar ao longo do tempo, estando a fissuração, a perda de aderência e a pulverulência associadas a elevados níveis de degradação, em idades mais avançadas. De uma forma geral, as manchas / alterações cromáticas contribuem significativamente para a degradação em revestimentos por pintura, o que se encontra de acordo com o que se constatou no trabalho de campo, referido também por alguns autores: apesar de diversos revestimentos por pintura ainda se encontrarem fisicamente funcionais (protecção do suporte), apresentam-se esteticamente para além do seu estado limite. Em pinturas, para além da deterioração funcional, a degradação visual do material pode ser um factor determinante para a definição do final da vida útil, realçando as duas funções que se atribuem às mesmas: cor e protecção do substrato.

Definida a curva de degradação que melhor se ajusta aos 220 pontos obtidos e definida a expressão de cálculo do modelo de regressão múltipla não linear, torna-se conceptualmente possível definir-se vidas úteis de referência por intercepção da curva de degradação e da linha horizontal correspondente ao nível mínimo de aceitação, no primeiro caso, e por resolução da expressão em ordem à idade para o nível crítico de desempenho, no segundo caso. A definição do fim da vida útil dos materiais e componentes passa pela definição de critérios de aceitação, relacionados com a percepção do que é ou não aceitável. Os níveis mínimos de desempenho são conceitos relativos, que variam de acordo com o contexto em que se enquadra a tomada de decisão, com as expectativas de desempenho que se têm num dado momento ou do que significa funcionalidade de um elemento da construção, entrando-se num território dificilmente abordável com os métodos da ciência. Uma abordagem para resolver este problema poderá passar pela definição de patamares padrão para a definição de nível mínimo de desempenho, de acordo com vários perfis de análise, à semelhança da investigação de Gaspar [2009]. No presente trabalho, optou-se por adoptar o critério de Gaspar [2002], correspondente ao nível crítico de degradação a partir do qual o material aumenta a probabilidade de deixar de cumprir os seus requisitos essenciais (S_w = 20%), de forma a ilustrar a metodologia de estimativa da vida útil de pinturas proposta. O resultado obtido foi de 9.75 anos no modelo de regressão simples não-linear e de 8.5 anos no modelo de regressão múltipla linear, encontrando-se estes valores dentro do intervalo que seria expectável, de acordo com investigações nesta área e face às percepções no meio técnico relativamente à durabilidade de pinturas. A obtenção destes resultados pode ser interpretada como um sinal da capacidade da metodologia proposta em traduzir a degradação.

Apesar da grande difusão do método factorial, não existem metodologias definidas para quantificação dos factores correctivos [Gaspar, 2009]. Na presente investigação, identificaram-se subfactores de degradação independentes (correspondentes aos factores correctivos propostos no método factorial), segundo os quais a amostra é agrupada, permitindo identificar curvas de regressão independentes. Quanto maior for o afastamento das curvas obtidas, maior será a distinção entre as vidas úteis associadas a cada subfactor ou, por outras palavras, maior a sua influência.

A vida útil prevista (para um nível de aceitação de 20%), de acordo com os factores de degradação considerados, é apresentada na Tabela 5.1. Em algumas situações, não foi possível estimar-se uma vida útil, nomeadamente quando as curvas se sobrepõem, ficando alternadamente umas por cima das outras ou quando os resultados não correspondem ao que seria expectável (por exemplo, revestimentos com exposição a fontes poluentes com melhor desempenho do que os que apresentam exposição favorável).

Através da análise comparativa das curvas obtidas e dos valores apresentados na Tabela 5.1, conclui-se que:

- as tintas com acabamento rugoso apresentam melhor desempenho do que as tintas lisas;

- os revestimentos orientados a Norte são os que apresentam melhor desempenho, verificando-se uma degradação mais rápida em fachadas orientadas a Sul e a Oeste, reflectindo a influência da exposição solar das pinturas na sua degradação;

- embora, em termos de estimativa de vida útil, a análise seja inconclusiva, em idades avançadas as tintas texturadas são as que apresentam melhor desempenho, seguidas das membranas elásticas e, por fim, das tintas lisas;

- relativamente à preparação da superfície, apesar de poder ser discutível a sua validade estatística devido ao reduzido número de casos de estudo, as curvas obtidas revelaram um melhor desempenho das tintas aplicadas directamente sobre o reboco.

Numa primeira aproximação ao método factorial, definem-se factores de ajustamento (Tabela 5.2), através da relação entre a vida útil prevista e vida útil de referência (9.75 anos).

Tabela 5.1 - Vida útil prevista consoante os factores de degradação considerados

Factor	Subfactor	Categorias analisadas	Vida útil prevista (anos)
Factor A - factor relacionado com a qualidade dos materiais	Tipo de produto	Lisas	Não conclusivo
		Texturadas	
		Membranas	
	Textura	Lisa	9.8
		Rugosa	9.4
	Cor	Branco	Não conclusivo
		Amarelo, cor-de-laranja, cor-de-rosa claro	
		Verde claro, azul claro, cor-de-rosa escuro	
Factor C - factor relacionado com o nível de execução	Preparação da superfície	Repintura sobre pintura já existente	9.9
		Pintura sobre reboco	9.7
Factor E - factor relacionado com as condições ambientais exteriores	Humidade	Desfavorável	9.3
		Corrente	10.0
	Proximidade do mar	Menos de 1 km	9.2
		Entre 1 e 5 km	9.4
		Mais de 5 km	10.0
	Proximidade de fontes poluentes	Desfavorável	Não conclusivo
		Corrente	
	Acção vento / chuva	Suave	10.1
		Moderada	9.6
		Severa	9.4
	Orientação da fachada	Norte	10.2
		Sul	9.1
		Este	10.1
		Oeste	9.1

Tabela 5.2 - Factores de ajustamento

Factor	Subfactor	Categorias analisadas	Factor de ajustamento
Factor A - factor relacionado com a qualidade dos materiais	Tipo de produto	Lisas	Não conclusivo
		Texturadas	
		Membranas	
	Textura	Lisa	1.01
		Rugosa	0.96
	Cor	Branco	Não conclusivo
		Amarelo, cor-de-laranja, cor-de-rosa claro	
		Verde claro, azul claro, cor-de-rosa escuro	
Factor C - factor relacionado com o nível de execução	Preparação da superfície	Repintura sobre pintura já existente	1.02
		Pintura sobre reboco	0.99
Factor E - factor relacionado com as condições ambientais exteriores	Humidade	Desfavorável	0.95
		Corrente	1.03
	Proximidade do mar	Menos de 1 km	0.94
		Entre 1 e 5 km	0.96
		Mais de 5 km	1.03
	Proximidade de fontes poluentes	Desfavorável	Não conclusivo
		Corrente	
	Acção vento / chuva	Suave	1.04
		Moderada	0.98
		Severa	0.96
	Orientação da fachada	Norte	1.05
		Sul	0.93
		Este	1.04
		Oeste	0.93

A determinação da vida útil em função dos factores de degradação a que estão sujeitos os revestimentos permite assim estabelecer o intervalo óptimo de intervenção na fachadas. Oz [2001] refere uma periodicidade recomendada de 2 anos para limpezas e pequenas reparações e de 5 anos para grandes reparações. No entanto, estes intervalos temporais devem ser aferidos ao longo da vida útil de cada caso de estudo.

5.2.2 Conclusões relativas ao modelo proposto

O modelo para a estimativa de vida útil de pinturas assenta numa metodologia que se baseia no levantamento visual de anomalias, a quantificação destas e a transposição dos resultados assim obtidos para o modelo proposto.

Esta abordagem ao tema da durabilidade é complementar aos estudos baseados em ensaios de laboratório ou campanhas de envelhecimento acelerado. A investigação pela via de ensaios é mais profunda no entendimento dos problemas mas, isolando-os, perde a visão global do problema que, no mundo físico,

resulta geralmente de uma combinação complexa de mecanismos [Gaspar, 2009]. Neste trabalho, assume-se uma perda da profundidade da compreensão de problemas pontuais mas ganha-se um entendimento global do comportamento dos revestimentos em condições de serviço.

Uma das vantagens do método proposto é a sua relativa simplicidade de aplicação, que equilibra baixo custo e rapidez, tornando viável a sua aplicação prática no âmbito da construção. A propósito da complexidade dos modelos, Bower [1999] demonstra que usar ferramentas muito complexas em situações de decisão estratégica não melhora o rigor das decisões; pelo contrário, decidir com base em informação mais simplificada, mas bem seleccionada, pode permitir alcançar resultados muito positivos, especialmente em contextos de tempo e recursos limitados. Ainda de acordo com este autor, em muitas situações práticas, a decisão baseada em métodos aparentemente simples funciona tão bem ou melhor do que os métodos mais complexos.

O método gráfico revelou constituir um sistema rigoroso no âmbito da previsão de vida útil de pinturas de fachadas, tendo permitido identificar as principais varáveis para o desenvolvimento de metodologias de previsão de vida útil: curvas médias de degradação e vidas úteis de referência. Permite também que seja acrescentada mais informação ao longo do tempo e, posteriormente, a sua transposição para outros métodos, nomeadamente o método factorial.

De acordo com Gaspar [2009], pela riqueza de leituras associada ao método gráfico, este é o modelo que se encontra subjacente à maioria das aplicações comerciais existentes que, a partir dos resultados acima listados, permitem traçar custos e intervalos de intervenção de acordo com perfis multicritério definidos pelo utilizador. A componente de campo do presente trabalho (direccionada para o estudo da durabilidade de revestimentos por pintura) pode assim ser entendida como um módulo constituinte de uma aplicação dessa natureza, direccionada para o mercado da gestão e manutenção do parque construído.

Relativamente ao modelo de regressão múltipla linear, este estabeleceu a distinção hierárquica das variáveis explicativas, permitindo estudar o efeito da acção simultânea de diferentes factores condicionantes na degradação de fachadas pintadas. Os factores de degradação nunca surgem de forma isolada, sendo a degradação um processo decorrente da acção de diferentes variáveis. Desta forma, o modelo obtido revelou-se significativo na compreensão dos diferentes factores que influenciam a degradação de pinturas, sendo assim eficaz no âmbito da previsão de vida útil.

5.3 Desenvolvimentos futuros

A metodologia proposta é passível de ser melhorada, por um lado, e completada, por outro. A primeira acção relaciona-se com uma maior fiabilidade dos resultados, de forma a ultrapassar algumas das dificuldades encontradas no decorrer desta investigação e algumas limitações intrínsecas ao próprio modelo. A segunda acção prende-se com a transposição dos resultados obtidos para o método factorial e posterior integração de resultados em estratégias e planos de manutenção. Nos pontos seguintes, são apresentadas algumas sugestões no que respeita a essas melhorias.

5.3.1 Melhoria na recolha de informação

A metodologia de recolha de informação pode ser complementada e melhorada através das sugestões a seguir referidas:

- continuação da recolha de informação, ampliando a amostra até que esta se torne estatisticamente significativa e realização de trabalhos semelhantes noutras zonas do país de forma a estabelecerem-se grelhas comparativas, sobretudo no que se refere à variação das condições ambientais;

- elaboração, à semelhança de Gaspar [2009], de um atlas da degradação de pinturas de fachadas, funcionando como uma base de referência para trabalhos de inspecção técnica de fachadas pintadas (para cada anomalia e cada nível de degradação, associar exemplos visuais), de forma a diminuir a subjectividade das inspecções;

- medição mais rigorosa das áreas das fachadas, recorrendo, por exemplo, a medidores de distâncias a *laser* (outras técnicas podem ser consultadas em Scherer [2002]);

- desenvolvimento de aplicações informáticas capazes de medir áreas directamente sobre imagens digitais, no caso da quantificação dos destacamentos / empolamentos (como, por exemplo, a aplicação *Photo Measure* utilizada por Garrido [2010]) e de automatizar a análise da degradação visual da fachadas decorrente de alterações tipo manchas / alterações cromáticas (por exemplo, através da medição de desvios de cor e respectiva comparação com uma zona ou cor de referência);

- elaboração de uma base de dados com informação referente às condições de execução das pinturas (preparação da superfície, condições de aplicação, tempo de secagem dos produtos, processo de aplicação) e registo da data da última intervenção na fachada;

- inclusão na análise de mais factores de degradação, como por exemplo a espessura da película de tinta, podendo-se para o efeito complementar o estudo com análises de laboratório;

- por fim, aplicação da metodologia de recolha de informação a fachadas constituídas por diferentes materiais ([Bordalo, 2008], [Silva, 2009]), possibilitando a modelação da degradação genérica de fachadas, independentemente dos materiais constituintes.

5.3.2 Desenvolvimentos relativos à quantificação da degradação global

A quantificação do nível de degradação é uma fase condicionante nos resultados obtidos e, consequentemente, no sucesso do modelo obtido. A sua melhoria poderá passar por:

- investigar outros critérios a serem integrados no indicador da severidade, incluindo, por exemplo, um coeficiente de ponderação relacionado com a zona em que ocorre a anomalia;

- aplicar os valores obtidos no presente trabalho a uma nova amostra de edifícios, com o objectivo de determinar a sua validade;

- analisar fachadas com diferentes matérias (revestimentos pétreos, cerâmicos e por pintura) e estabelecer uma hierarquização entre estes revestimentos baseada, por exemplo, no custo previsível associado à reparação de anomalias em cada revestimento ou no risco decorrente das anomalias em termos de degradação para outros elementos da construção;

- realizar inquéritos a utentes, a especialistas e a donos de obra, de forma a isolar as razões para a decisão de intervenção de acordo com os vários perfis de análise;

- validar os resultados obtidos através de questionários, de forma a verificar se o método proposto ilustra a percepção da degradação de fachadas pintadas;

- desenvolver técnicas de medição de desempenho de elementos em condições de serviço, permitindo calibrar o modelo proposto;

- considerar o efeito simultâneo de diferentes factores de degradação através de técnicas estatísticas de regressão múltipla não-linear (por exemplo, recorrendo a redes neuronais artificiais);

- realizar-se, à semelhança de Silva et al. [2011], uma análise de trajectórias no modelo de regressão múltipla linear, isto é, estabelecer modelos de regressão múltipla linear que expressem cada variável independente englobada no modelo obtido (variável dependente) em função das variáveis excluídas do modelo (variáveis independentes), de forma a estudar o seu efeito nos parâmetros da regressão e, consequente e indirectamente, na severidade;

- incorporar a noção de risco na definição dos níveis de degradação, podendo este ser definido como o produto da probabilidade de ocorrência de uma falha com o grau de severidade que lhe está associado; assim, os patamares de degradação deixam de representar só o diagnóstico da situação registada no momento da inspecção, mas reflectem a probabilidade futura de ocorrência de problemas, em função das anomalias detectadas e do comportamento conhecido dos elementos analisados [Gaspar, 2009].

5.3.3 Método factorial

Os resultados do método gráfico proposto podem ser transpostos para o método factorial, sendo este a única metodologia genericamente aceite a um nível internacional [Cecconi e Iacono, 2005]. Para o seu desenvolvimento, referem-se as mais importantes [Gaspar, 2009], algumas já abordadas na presente investigação:

- definição das variáveis da equação base, tendo em conta a especificidade do caso em estudo, nomeadamente através da identificação dos factores que determinam a composição e as características específicas do componente;

- identificação das exigências de desempenho relevantes;

- definição de uma vida útil de referência;

- identificação e quantificação dos fenómenos que contribuem para a deterioração do componente, através de funções de modelação da degradação, testes laboratoriais, trabalhos de campo ou a partir da opinião de peritos;

- quantificação dos factores e aplicação da respectiva expressão de cálculo da vida útil estimada;

- discussão dos resultados com peritos, revendo os parâmetros e os seus pesos;

- apresentação da fórmula de cálculo da durabilidade do material.

As vidas úteis previstas, obtidas pela aplicação do método factorial, devem posteriormente ser integradas em estratégias de manutenção [Flores, 2002], sendo que estes planos devem passar por:

- desenvolvimento de metodologias para a avaliação do estado de degradação dos elementos (tipo e métodos de inspecção, técnicas a utilizar);

- elaboração de fichas de acções correctivas e de prevenção com as técnicas mais correntes e adequadas para cada tipo de anomalia;

- elaboração de fichas de anomalias com matrizes de correlação entre os elementos e as anomalias mais correntes;

- criação de uma base de dados com custos de manutenção, de acordo com as respectivas técnicas correctivas e de prevenção.

Esta investigação pretendeu ilustrar todo o trabalho necessário à elaboração de uma metodologia de vida útil de fachadas pintadas e, apesar de os resultados obtidos terem sido satisfatórios, este constitui apenas um contributo à obtenção de resultados integráveis em verdadeiras estratégias de manutenção.

A grande diversidade desta temática tem ainda informação claramente insuficiente, havendo ainda vários aspectos que devem ser aprofundados, desenvolvidos e sistematizados, relativamente a todos os elementos da construção. Deve assim existir um esforço de melhoria conjunto de todos os intervenientes na construção para assegurar um desenvolvimento mais sustentável.

Bibliografia

A

Aguiar, J. (1999), *Estudos cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos*, Tese de Doutoramento em Conservação da Património Arquitectónico, Universidade de Évora, Évora, Portugal, 754 p.

AIJ - Architectural Institute of Japan (1993), *The English Edition of Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*, commented edition, AIJ, Tokyo, Japan, 98 p.

Almeida, S.; Souza, L. (2007), *Tintas imobiliárias acrílicas em obras de interesse histórico*, Revista Brasileira de Arqueometria, Restauração e Conservação, 1(6), Aerpa Editora, São Paulo, Brasil, pp. 347-348.

Amaro, M. (2008), *Estudo comparativo de tintas para fachadas*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 53 p.

Ang, G.K.I.; Wyatt, D.P. (1999), *Performance concept in procurement of durability and serviceability of buildings*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1821-1832.

Appleton, J. (2003), *Reabilitação de edifícios antigos - Patologias e tecnologias de intervenção*, Edições Orion, Lisboa, Portugal, 454 p.

ASTM D4258-05 (1999), *Standard practice for surface cleaning concrete for coating*, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2 p.

Athena Institute (2006), *Service life considerations in relation to green buildings rating systems and exploratory study*, Athena Sustainable Materials Institute, Ontario, Canada.

B

Barbot (2005), *Curso avançado de tintas*, Lisboa, Portugal, 189 p.

Barros, R.C. (2001), *Curso avançado de técnicas de tintas*, Instituto de Soldadura e Qualidade, Lisboa, Portugal, 60 p.

Baumstark, R. (2005), *New possibilities and trends of water-based exterior paints*, Encontro III Jornadas Pintumed - Mudanças no mercado das tintas. Reparação e renovação de edifícios, Associação Portuguesa dos Técnicos de Tintas, Lisboa, Portugal, 40 p.

Bechet, P. (1981), *Principaux défauts d'une feuille de peinture. Causes et remèdes*, ESCEPEA, Paris, França, 110 p.

Bordalo, R. (2008), *Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 130 p.

Bordalo, R.; Brito, J. de; Gaspar, P.; Silva, A. (2011), *Service Life Prediction Modelling of Adhesive Ceramic Tiling Systems*, Building Research and Information, 39(1), Taylor & Francis, pp. 66-78.

Bower, B. (1999), *Simple minds, smart choices*, Science News, 155(22), pp. 348-350.

Bragança, L.; Almeida, M., Mateus, R.; Lopes, S. (2001), *Algumas causas de patologias em fachadas caso de estudo*, Construção 2001, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, pp. 799-806.

Brito, J. de (2001), *Vida útil das construções e sua previsão*, Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 41 p.

Brito, J. de (2004*), Diagnóstico, patologia e reabilitação de revestimentos de paredes*, Apontamentos da cadeira de Patologia e Reabilitação da Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 145 p.

Brito, V. (2009), *Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte*, Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 119 p.

BSI 7543:1992, *Guide to Durability of Buildings and Building Elements*, British Standards Institution. London, Reino Unido.

Büchli, R. (2003), *Microbiological growth on façades*, CIB/W87 - 2nd International Symposium in Lisbon, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 427-436.

Burati, J.; Farrington, J.; Ledbetter, W. (1992), *Causes of quality deviations in design and construction*, Construction Engineering and Management, 118(1), pp. 34-49.

C

Cecconi, F.; Iacono, P. (2005), *Enhancing the factor method - suggestions to avoid subjectivity*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 601-609.

Cecconi, F.R. (2002), *Performances leed. The way to service life prediction*, 9th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Brisbane, Australia, pp. 570-582.

Cecconi, F.R. (2004), *Engineering method for service life planning: the evolved factor method*, CIB World Building Congress, Toronto, Canada.

Censos (2001), *Potencialidade do mercado de reparação e manutenção face às características do parque edificado*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 7 p.

Chew, M. (2005), *Defect analysis in wet areas of buildings*, Construction and Building Materials 19(3) , pp. 165-173.

Chew, M.Y.L. (2005), *Defect analysis in wet areas of buildings*, Construction and Building Materials, 19(3), pp. 165-173.

Chew, M.Y.L.; Tan, S.S. (2004), *A multivariate approach to maintenance prediction of wet areas*, Construction Management and Economics, 22(4), pp. 395-407.

Cin (2010a), Catálogo *Fachadas - Sistemas de tratamento e protecção*, Porto, Portugal, 14 p.

Cin (2010b), Catálogo *Fachadas - Recuperação*, Porto, Portugal, 6 p.

Cin (2010c), Catálogo *Fachadas - Acabamentos*, Porto, Portugal, 6 p.

Cole, I.S., King, G.A., Trinidad, G.S., Chan, W.Y.; Paterson, D.A. (1999), *An Australia-wide map of corrosivity: a GIS approach*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Vancouver, Canada, pp. 901-911.

Cunha, A. (2009), *Tintas para rebocos de cimento fissurados em fachadas exteriores*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 102 p.

D

Damen, A.A.J.; Hermans, M.H. (1999), *Communicating performance requirements - tools for transferring client-oriented maintenance information*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1848-1855.

Daniotti, B., Spagnolo, S. L. (2007), *Service life prediction for buildings' design to plan a sustainable building maintenance*, SB07 Lisbon - Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millenium, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.

Daniotti, B.; Paolini, R. (2008a), *Experimental programme to assess ETICS cladding durability*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Istanbul, Turquia, pp. 1195-1203.

Daniotti, B.; Iacono, P. (2005*), Evaluating the service life of external walls: a comparison between long-term and short-term exposure*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 269-276.

Davies, G.; Szigeti, F. (1999), *Are facilities measuring up? Matching building capacities to functional needs*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1856-1866.

DIN 18363-10 (2006), *German construction procedures (VOB) - Part C: General technical specifications for building works - Painting and coating works*, Deutsches Institut für Normung, Berlin, Alemanha, 19 p.

Duval, F., Fream, A. (2003), *Exterior masonry coatings in Europe*, Conference of Coatings for Masonry and Concrete, PRA, Bruxelas, Belgica.

E

Eliokem (2003) - *A chaque chantier sa solution! Pliolite.com. La peinture de façades, côté pró*, http://www.pliolite.com/.

Estrela, S., Veiga, M.R., Henriques, G. (2009), *Reparação de fissuras em rebocos*, PATORREB 2009 - 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 225-230.

Eusébio, M.I. (1980), *Contribuição para o estudo do envelhecimento de pinturas*, Processo 24/11/5231, LNEC, Lisboa, Portugal, 70 p.

Eusébio, M.I. (1985a), *Tintas. Características dos constituintes e da película seca*, ITMC 3, LNEC, Lisboa, Portugal, 106 p.

Eusébio, M.I. (1985b), *Durabilidade de tintas plásticas*, ITMC 2, LNEC, Lisboa, Portugal, 26 p.

Eusébio, M.I. (1991), *Revestimentos por pintura para a construção civil. Preparação de superfícies*, ITMC 18, LNEC, Lisboa, Portugal, 68 p.

Eusébio, M.I. (2007), *Sistemas de pintura para o exterior de edifícios. Aspectos funcionais da sua aplicação*, Seminário sobre Materiais em Ambiente Marítimo, LNEC, Funchal, Portugal, 44 p.

Eusébio, M.I. (2008), *Revestimentos por pintura*, Folhas de apoio à disciplina de Revestimentos e Acabamentos, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Lisboa, Portugal, 110 p.

Eusébio, M.I., Rodrigues, M.P. (1990), *Tintas, vernizes e revestimentos por pintura para a construção civil*, CS 14, LNEC, Lisboa, Portugal, 120 p.

F

Fazenda, J. (2005), *Tintas e vernizes, Ciência e tecnologia*, Editora Abrafat, São Paulo, Brasil, 1044 p.

Ferreira, T. (2004), *Arquitectura e Durabilidade - Prevenção de anomalias na faixa costeira*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 244 p.

Figueras, J. (2009), *Problemas y soluciones específicos de los sistemas acuosos (comparación com sistemas com disolvent*e), Eurocoat 2009, Barcelona, Espanha, 34 p.

Fiúza, M. (2009), *Estudo da eficiência de revestimentos fotocatalíticos na decomposição dos NOx e suas propriedades auto-limpantes*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 82 p.

Florentzou, F., Brandt, E.; Wetzel, C. (1999), *MEDIC - a method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 1280-1288.

Flores, I. (2002), *Estratégias de manutenção. Elementos da envolvente de edifícios correntes*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 180 p.

Flores, I., Brito, J. de, Freitas, V. (2005), *Técnicas de diagnóstico e de manutenção para remoção de manchas em paredes rebocadas*, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção (APFAC), comunicação 03/05.

Flores, I., Brito, J. de (2003a), *Manchas prematuras em fachadas de edifícios recentes*, CIB/W87 - 2nd International Symposium in Lisbon, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 311-320.

Flores, I., Brito, J. de (2003b), *Anomalias em fachadas de edifícios correntes*, PATORREB 2003 - 1º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 499-508.

Flores, I.; Brito, J. de (2003c), *A influência de alguns parâmetros na fiabilidade de estratégias de manutenção*, 3º Encore - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 1017-1026

Flores, I., Brito, J. de, Freitas, V. (2003), *Durabilidade de soluções e estratégias de manutenção de fachadas de edifícios*, CIB/W87 - 2nd International Symposium in Lisbon, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 117-126

Flores, I., Brito, J. de; Freitas, V.P. (2006a), *Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades*, Journal of Building Appraisal, 2(2), pp. 142-156.

Flores, I., Brito, J. de, Freitas, V. P.; Silva, L. (2006b), *A resistência superficial como característica de desempenho de rebocos exteriores*, PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 307-316..

Freitas, V.P., Sousa, M. (2003), *Building pathology - a catalogue*, CIB/W87 - 2nd International Symposium in Lisbon, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 401-408.

G, H

Garrido, M. (2010), *Previsão de vida útil de pinturas de fachadas de edifícios antigos*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 82 p.

Gaspar, P. (2001), *O layering como estratégia para o aumento da vida útil funcional das construções*, Construção 2001, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, pp. 945-952.

Gaspar, P. (2002), *Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 203 p.

Gaspar, P. (2002), *Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 203 p.

Gaspar, P. (2009), *Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes*, Tese de Doutoramento em Ciências da Engenharia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 330 p.

Gaspar, P., Brito, J. de (2003a), *Diagnóstico e reparação de patologias de rebocos em construções correntes*, PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 197-206.

Gaspar, P; Brito, J. de (2003b), *O ciclo de vida das construções - vida útil física*, Arquitectura e Vida, 44, pp. 70-75.

Gaspar, P; Brito, J. de (2003c), *O ciclo de vida das construções - critérios de análise*, Arquitectura e Vida, 42, pp. 98-103.

Gaspar, P; Brito, J. de (2004), *O ciclo de vida das construções -vida útil económica*, Arquitectura e Vida, 45, pp. 70-75.

Gaspar, Pedro; Brito, J. de (2005a), *Modelo de degradação de rebocos*, Engenharia Civil, nº 24, Universidade do Minho, Portugal, pp. 17-27.

Gaspar, Pedro; Brito, J. de (2005b), *Assment of the overall degradtion level of na element, based on a field data*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 1043-1050.

Gaspar, P., Flores, I., Brito, J. de (2007*), Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas*, Revista Internacional Construlink, 5(14), Lisboa, Portugal, 11 p.

Gaspar, P.; Brito, J. de (2008a), *Quantifying Environmental Effects on Cement-Rendered Façades, Building and Environment*, 43(11), Elsevier, pp. 1818-1828.

Gaspar, P.; Brito, J. de (2008b), *Service Life Estimation of Cement-Rendered Facades, Building Research and Information*, 36(1), Taylor & Francis, pp. 44-55.

Gaspar, P.; de Brito, J. de (2008c), *Minimum required performance level for rendered facades*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Istanbul, Turquia, pp. 1177-1184.

Giacardi, A., Morra, L. (2008), *Outdoor wall painting semi-natural test*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul, Turquia, pp. 797-804.

Gonçalves, P. (2005), *Evolução do mercado de tintas. Estatísticas*, Encontro III Jornadas Pintumed - Mudanças no mercado das tintas. Reparação e renovação de edifícios, Associação Portuguesa dos Técnicos de Tintas, Lisboa, Portugal, 18 p.

Gonçalves, T. (1997), *Capacidade de impermeabilização de revestimentos de paredes à base de ligantes minerais*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 140 p.

Gonçalves, T. (2002), *Pesquisa de mercado sobre revestimentos para paredes sujeitas à acção de sais solúveis*, Cadernos de Edifícios n.º 2, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 175-190.

Goossens, E., Zanden, A., Spoel, W. (2004), *The measurement of the moisture transfer properties of paint films using the cup method*, Progress in Organic Coatings 49(3), Elsevier, pp. 270-274.

Hovde, P.J. (2000), *Factor Methods for Service Life Prediction. A State-of-the-Art*, Draft Report, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 47 p.

Hovde, P.J. (2005), *The factor method - a simple tool to service life estimation*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Lyon, France, pp. 522- 529.

I, J, K

IA - Instituto do Ambiente (1975), *Atlas do Ambiente Digital - Instituto do Ambiente*, Agência Portuguesa do Ambiente, http://www2.apambiente.pt/atlas, [2010.08.14].

INE - Instituto Nacional de Estatística (2001), *Estatísticas nacionais* - Censos 2001.

ISO 15686-1:2000, *Building and constructed assets: Service life planning - Part 1: General principles*, International Standard Organization, Geneva, Suíça.

Jernberg, P. (1999), *Overview and notional concepts on performance and service life*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1417-1425.

Kadlubowski, R., Bynum, C. (2001), *Façade cleaning: for more than appearence's sake*, Journal of Architectural Technology, 19(1), North Haven, USA, pp. 1-5 e 7-8.

Kooymans, R.; Abbott, J. (2006), *Developing an effective service life asset management and valuation model*, Journal of Corporate Real Estate, Emerald Group Publishing limited, 8(4), pp. 198-212.

Kus, H., Nygren, K.; Norberg, P. (2004), *In-use performance assessment of rendered autoclaved concrete walls by long-term moisture monitoring*, Building and Environment, 39(6), pp. 677-687.

Kus, H.; Kalmar, G. (2002), *Long-term performance evaluation of external renderings on autoclaved aerated concrete wall*, 9th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Brisbane, Australia, paper 36, 8 p.

L

Lacasse, M. A.; Sjostrom, C. (2004), *Recent advances in methods for service life prediction of buildings materials and components - an overview*, CIB World Building Congress, Toronto, Canada, 2004, pp. 1-10.

Lanzinha, J., Freitas, V., Gomes, J. (2006), *Exploração de metodologia de diagnóstico exigencial de apoio à reabilitação de edifícios de habitação*, PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 589-596.

Leira, B. et al. (1999), *Degradation Analysis by Statistical Methods*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1436-1446.

Leung Arthur W. T., Tam C. M., Liu D. K. (2001), *Comparative study of artificial neural networks and multiple regression analysis for predicting hoisting times of tower cranes*, Building and Environment 36(4), pp. 457-467.

Lopes, C. (2008), *Anomalias da cor em revestimentos por pintura em paredes exteriores*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 207 p.

Love, P.; Li, H. (2000), *Quantifying the causes and costs of rework in construction*, Construction Management and Economics, 18(4), pp. 479-490.

Lubbeli, B., Hees, R., Weert, T. (2008), *Effect of anti-graffiti coatings on the drying behaviour of building materials*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul , Turquia, pp. 813-821.

Lucas, J.C. (1990a), *Classificação e descrição geral de revestimentos para paredes de alvenaria ou de betão*, ITE 24, LNEC, Lisboa, 178 p.

Lucas, J.C. (1990b), *Exigências funcionais de revestimentos de paredes*, ITE 25, LNEC, Lisboa, Portugal, 128 p.

M

Magalhães, A.C. (2002), *Patologia de rebocos antigos*, Cadernos de Edifícios n.º 2, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 69-85.

Mallon, P., Zhang, Y., Chen, H., Wu, Y., Sandreczki, T., Jean, Y. Suzuki, R., Ohdaira, T. (2002), *Durability of polymeric coatings: effects of natural and artificial weathering*, Applied Surface Science 49(3), Elsevier, pp. 270-274.

Martin, J. (1994), *Methodologies for prediction the service lives of coating systems*, Nist Building Science Series 172, Gaitherburg, USA, 72 p.

Masters, L. W., Brandt, E. (1987), *Prediction of service life of building materials and components*, RILEM Technical Committee, CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report, Materials and Structures, 20, pp. 55-77.

Mateus, A. (2004), *Sistema de manutenção de edifícios. Patologia de revestimentos exteriores de paredes. Revestimentos de pedra, pintura e ladrilhos cerâmicos*, Trabalho Final de Curso em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 100 p.

Matos, M.J. (2007), *Durabilidade como critério de Project. O Método Factorial no contexto português*, Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 96 p.

Mc Duling, J., Horak, E., Cloete, C. (2008b), *Evaluation of environmental degradation factors for service life prediction*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul, Turquia, pp. 1327-1334.

Miyamoto, A. (2003), *Japanese strategy of life-cycle management in civil infrastructure systems*, 2nd International Symposium - Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, Kuopio, Finlândia, pp. 1-6.

Moreira, P. (2006), *Contribuição dos revestimentos poliméricos para a durabilidade de betões em ambientes agressivos*, Dissertação de Mestrado em Construção, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Minho, Portugal, 216 p.

Moser, K. (1999), *Towards the practical evaluation of service life - illustrative application of the probabilistic approach*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1319-1329.

Moser, K. (2002), *Engineering Design Methods for Service Life Prediction*, CIB W80 / RILEM 175 - SLM (Service Life Methodologies) TG 'Performance Based Methods of Service Life Prediction' Report, Zürich, 30 p.

Moser, K. (2003), *Engineering design methods for service life planning - state of the art*, Internacional Workshop on Managament of Durability in the Building Process, Politecno di Milano, Milão, Itália , paper 40.

Moser, K. (2004), *Engineering design methods for service life prediction. Performance Based Methods for Service Life Prediction - State of the Art Report*, CIB Report 294, Part B, Março, 107 p.

Motohashi, K. (2008), *Durability evaluation of newly developed water based paint systems for buildings*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul , Turquia, pp. 805-811.

Moura, A.R. (2008), *Características e estado de conservação de pinturas em fachadas - Caso da Alta de Coimbra*, Dissertação de Mestrado em Construção, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 79 p.

N

Nennemann, A., Pyrlik, O, Maleika, R. (2009), *High performance polyurethane coatings through nanoparticle - modified raw materials*, Avances en Pinturas e Recubrimentos, Eurocoat 2009, Barcelona, Espanha, 9 p.

Neto, N. (2008), *Sistema de apoio à inspecção e diagnóstico de anomalias em revestimentos em pedra natural*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 194 p.

Nogueira, J.L. (2009), Noções básicas de tintas e vernizes, Vol. I, Associação Rede de Competências em Polímeros, Porto, Portugal, 269 p.

Norvaisiene, R., Burlingis, A., Stankevicius, V. (2006*), Impact of acidic precipitation to ageing of painted facades' rendering*, Building and Environment 42(1), Elsevier, pp. 254-262.

NP 185 (1997), *Tintas e Vernizes. Determinação do teor de veículo fixo*, Instituto Português da Qualidade, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP 234 (1995), *Tintas e vernizes. Medição da viscosidade com o viscosímetro de Storme*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP 41 (1982), *Tintas e vernizes. Terminologia. Definições*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 7 p.

NP 42 (1982), *Tintas e vernizes. Classificação*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal, 7 p.

NP 4407 (2001), *Tintas e vernizes. Determinação do poder de cobertura. Determinação da razão de contraste (opacidade) de tintas de cores claras a um dado rendimento*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP 679 (1998), *Tintas. Determinação do teor de pigmentos e cargas*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN 1504-2 (2006), *Produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão. Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade. Parte 2: Sistemas de protecção superficial do betão*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 11341 (2009), *Tintas e vernizes. Envelhecimento acelerado e exposição à radiação artificial. Exposição à radiação de arco de xénon filtrada*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 11890-1 (2009, *Tintas e vernizes. Determinação do teor de compostos orgânicos voláteis (COV). Parte 1: Método da diferença*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 11890-2 (2009), *Tintas e vernizes. Determinação do teor de compostos orgânicos voláteis (COV). Parte 2: Método da cromatografia em fase gasosa*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 1518 (2006), *Tintas e vernizes. Ensaio de riscagem*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 1519 (2009), *Tintas e vernizes. Ensaio de dobragem com mandril cilíndrico*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 243 (1998), *Tintas e vernizes. Avaliação da viscosidade aparente pela determinação do tempo de escoamento*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 2810 (2007), *Tintas e vernizes. Envelhecimento natural dos revestimentos. Exposição e avaliação*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 2811-4 (2007), *Tintas e vernizes. Determinação da massa volúmica. Parte 4: Método do cilindro de pressão*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 2812-2 (2009), *Tintas e vernizes. Determinação da resistência aos líquidos. Parte 2: Método de imersão em água*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 2884-1 (2008), *Tintas e vernizes. Determinação da viscosidade usando viscosímetros rotativos. Parte 1: Viscosímetros de cone e prato funcionando a alta velocidade de corte*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 2884-2 (2008), *Tintas e vernizes. Determinação da viscosidade usando viscosímetros rotativos. Parte 2: Viscosímetro de disco ou esfera, funcionamento a uma velocidade específica*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 3668 (2006), *Tintas e vernizes. Comparação visual da cor de revestimentos por pintura*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 3688-21 (1994), *Tintas e vernizes. Pigmentos e cargas. Métodos gerais de ensaio. Parte 21: Comparação da estabilidade ao calor dos pigmentos utilizando um ligante de estufa,* Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 4628-1 (2005), *Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 1: Introdução geral e sistema de designação*, Instituto Português das Qualidade, Lisboa, Portugal, 8 p.

NP EN ISO 4628-2 (2005), *Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de*

aspecto. Parte 2: Avaliação do grau de empolamento, Instituto Português das Qualidade, Lisboa, Portugal, 16 p.

NP EN ISO 4628-4 (2005), *Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de*

aspecto. Parte 4: Avaliação do grau de fissuração, Instituto Português das Qualidade, Lisboa, Portugal, 20 p.

NP EN ISO 4628-5 (2005) *Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 5: Avaliação do grau de descamação*, Instituto Português das Qualidade, Lisboa, Portugal, 11 p.

NP EN ISO 4628-7 8 (2005), *Tintas e vernizes. Avaliação da degradação de revestimentos. Designação da quantidade e dimensão de defeitos e da intensidade das alterações uniformes de aspecto. Parte 7: Avaliação do grau de pulverulência pelo método do tecido aveludado*, Instituto Português das Qualidade, Lisboa, Portugal, 8 p.

NP EN ISO 6270-1 (2007), *Tintas e vernizes. Determinação da resistência à humidade. Parte 1: Condensação contínu*a, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 6270-2 (2007), *Tintas e vernizes. Determinação da resistência à humidade. Parte 2: Método de exposição de provetes em atmosferas de condensação de água*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 7783-1 (2001), *Tintas e vernizes. Determinação da velocidade de transmissão do vapor de água. Parte 1: Método da cápsula, para películas livres*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP EN ISO 7783-2 (2001), *Tintas e vernizes. Materiais e esquemas de pintura para rebocos exteriores e betão. Parte 2: Determinação e classificação da velocidade de transmissão de vapor de água (permeabilidade)*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 11503 (1999), *Tintas e vernizes. Determinação da resistência à humidade (condensação intermitente)*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 14680-1 (2001), *Tintas e vernizes. Determinação do teor de pigmentos e cargas. Parte 1: Método por centrifugaçã*o, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 14680-2 (2001), *Tintas e vernizes. Determinação do teor de pigmentos e cargas. Parte 2: Método das cinzas*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 14680-3 (2002), *Tintas e vernizes. Determinação do teor de pigmentos e cargas. Parte 3: Método da filtração*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 15184 (2003), *Tintas e vernizes. Determinação da dureza da película. Método do lápis*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 2811-1, 1999, *Tintas e vernizes. Determinação da massa volúmica. Parte 1: Método do Picnómetro*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

NP ISO 2811-1, 1999, *Tintas e vernizes. Determinação da massa volúmica. Parte 1: Método do Picnómetro*, Instituto Português da Qualidade, Lisboa, Portugal.

O, P

Oliveira, C. (1996), *Permeabilidade ao vapor de pinturas exteriores*, Dissertação de Mestrado em Construção, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 141 p.

Paiva, J. V.(2003), *A actividade do LNEC no domínio da patologia e reabilitação de edifícios*, 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, 37 p.

Paiva, J., Aguiar, J., Pinho, A. (2006), *Guia técnico da reabilitação habitacional*, Vol. II, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 512-572.

Paulo, P., Branco, F., Brito, J. de (2008), *Quantification of façade defects using photogrammetry within the BuildingsLife system*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul, Turquia, pp. 1446-1454.

Paulo, P. (2010), *Building Management System (BuildingsLife): application of deterministic and stochastic models with genetic algorithms to building façades*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Pedro, E., Maia, L., Rocha, M., Chaves, M. (2002), *Patologia em revestimento cerâmico de fachada*, Pós-graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias, FUMEC, Faculdade de Engenharia e Arquitectura, Belo Horizonte, Brasil.

Pinto, A. (2003), *O desenho das envolventes exteriores verticais de edifícios e a existência de falhas, num processo de degradação*, 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 1209-1217.

Pinto, A. (2003), *O desenho das envolventes exteriores verticais de edifícios e a existência de falhas, num processo de degradação*, 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 1209-1217.

Q

R

Ribeiro, A., Eusébio, M.I. (2002), *Tintas inorgânicas: tintas de cal e de silicatos,* Cadernos de Edifícios n.º 2, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 117-137.

Robbialac (1958), *Manual de pintura*, Vol. I, Serviços Técnicos da Robbialac Portuguesa, Lisboa, Portugal, 224 p.

Robertson, E. (1999), *Design for durability - a practical approach*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Vancouver, Canada, pp. 2107-2117.

Rodrigues, M P. (1998*), Durabilidade de revestimentos por pintura para protecção do betão armado*, Tese de Doutoramento em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 443 p.

Rodrigues, M.P. (2000), *Os revestimentos por pintura e a nova série de especificações europeias para protecção e reparação de estruturas de betão*, REPAR 2000 - Encontro Nacional sobre conservação e reabilitação de estruturas, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 217-226.

Rodrigues, M.P., Eusébio, M.I. (2003a), *Repintura exterior de edifícios recente*s, 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 1301-1308.

Rodrigues, M.P., Eusébio, M.I. (2003b), *Anomalias em revestimentos por pintura. Casos de estudo*, CIB/W87 - 2nd International Symposium CIB/W87, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 417-426.

Rodrigues, M.P., Eusébio, M.I. (2005a), *Revestimentos por pintura para a construção civil. Normalização aplicável*, Encontro III Jornadas Pintumed - Mudanças no mercado das tintas. Reparação e renovação de edifícios, Associação Portuguesa dos Técnicos de Tintas, Lisboa, Portugal, 15 p.

Rodrigues, M.P., Eusébio, M.I. (2005b), *Patologia de revestimentos por pintura de edifícios e esquemas de pintura adequados*, Actas do Encontro III Jornadas Pintumed - Mudanças no Mercado das Tintas. Reparação e renovação de edifícios, Associação Portuguesa dos Técnicos de Tintas, Lisboa, Portugal, Março, 19 p.

Rodrigues, M.P., Eusébio, M.I., Ribeiro, A. (2005), *Revestimentos por pintura. Defeitos, causas e reparação*, ITPRC 5, LNEC, Lisboa, Portugal, 48 p.

Rudbeck, C. (1999), *Assessing the service life of building envelope construction*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component, Vancouver, Canada, pp. 1051-1061.

Rudbeck, C. (1999), *Assessing the service life of building envelope construction*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Vancouver, Canada, pp. 1051-1061.

Rudbeck, C. (2002), *Service life of building envelope components: making it operational in economical assessment*, Construction and Buildings Materials, 16(2), 2002, pp. 83-89.

S

Santos, A. (2000), *Edifícios de Escritórios em Lisboa: Um Contributo para o Estudo da sua História*, Trabalho de Síntese para as Provas de Aptidão Pedagógica, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 95 p.

Sarja, A.(2004), *Lifecon deliverable D 2.1: Reliability based methodology for lifetime management of structures*, VTT Building and Transport, Espoo, Finland.

Scherer, M. (2001), *A statement on behalf of the synthesis of different methods in surveying*, XVIII international symposium of CIPA - Colloquium on the Applications of Photogrammetry to Architecture, Potsdam, Germany, pp. 423-429.

Schwartz, M., Baumstark, R. (2001), *Waterbased acrylates for decorative coatings*, European Coatings Literature, Hannover, Alemanha, 284 p.

Secher, M. (2005), *Un avenir pour les peintures décoratives phase solvant en Europe: Comment formuler en conformité avec la nouvelle Directive Européenne 2004/42/C*E, Eurocoat 2005 - Environnement et Sécurité. Nouvelles Directives Européennes, Lyon, França, 18 p.

Shohet, I.; Paciuk, M. (2004), *Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions*, Construction Management and Economics, 22(10), pp. 1081-1090.

Shohet, I.; Paciuk, M. (2006), *Service life prediction of exterior cladding components under failure conditions*, Construction Management and Economics, 24(2), pp. 131-148.

Shohet, I., Paciuk, M., Puterman, M. (2003), *Deterioration patterns of exterior cladding components*, CIB/W87 - 2nd International Symposium in Lisbon, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 151-160.

Shohet, I.M., Puterman, M., Bilboa, E. (2002), *Deterioration patterns of building cladding components for maintenance management*, Construction Management and Economics, 20(4), pp. 305-314.

Shohet, I.M., Rosenfeld, Y., Puterman, M.; Gilboa, E. (1999), *Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Vancouver, Canada, pp. 1666-1678.

Silva, A. (2009), *Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 140 p.

Silva A., Brito J. de, Gaspar P. (2011a), *Service life prediction model applied to natural stone wall claddings (directly adhered to the support)*, Construction and Building Materials, Elsevier, aprovado para publicação.

Silva A., Brito J. de, Gaspar P. (2011b), *Application of a factor method to stone cladding using advanced statistical tools,* Automation in Construction, submetido para publicação.

Silvestre, J. (2005), *Sistema de Apoio à Inspecção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes*, Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 172 p.

Sjöström, C., Brandt, E. (1991), *Collection of in-service performance data: state-of-the-art and approach by CIB W80/RILEM 100-TSL*, RILEM Technical Committees, Prediction Techniques of Service Life, CIB W80/RILEM 100-TSL, Materials and Structures, 24, pp. 70-76.

Sjöström, C., Caluwaerts, P., Jernberg, P., Haagenrud; S.E., Ilomäki, A.; Davies, H. (2005), *Product declarations with respect to durability - a progress report*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 741-748.

Sjöstörm, C., Jernberg, P., Caluwaerts, P., Kelly, S., Haagenrud, S.; Chevalier, J.L. (2002) *Implementation of the European construction products directive via the ISO 15686 standards*, 9th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Brisbane, Austrália, paper 10, 10 p.

Sjöström, C., Trinius, W., Davies, H.; Lair, J. (2008), *International Standards on Durability and Sustainability of Construction Works*, 11th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Istanbul, Turquia, pp. 1568-1575.

Sousa, R. (2008), *Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 130 p.

T

Takata, S.; Kimura, F.; Van Houten, F.; Westkämper, E.; Shpitalni, M; Ceglarek, D; Lee, Jay (2004), *Maintenance: Changing role in life cycle management*, CIRP annals, 53(2), pp. 643-655.

Tavares, M. (2002), *Revestimentos por pintura para edifícios antigos: um estudo experimental sobre as caiações e as tintas de silicatos*, Cadernos de Edifícios n.º 2, LNEC, Lisboa, Portugal, pp. 139-151.

Teo, E., Chew, M., Harikrishna, N. (2005), *An assessment of factors affecting the service life of external paint finish on plastered facades*, 10th International Conference on Durability of Buildings Materials and Components (DBMC), Lyon, França, pp. 570-582.

Tolman, F., Tolman A. (2003), *Economical and environmental sustainability in construction and operation*, 2nd Internacional Symposium - Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures, Kuopio, Finlândia, pp. 221-226.

U, V

Uemoto, K.L. (2002), *Projeto, execução e inspeção de Pinturas*, Editora Pini, São Paulo, Brasil, 112 p.

Veiga, M.R. (2006), *Intervenções em revestimentos antigos: conservar, substituir ou destruir*, PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 29-41.

Veiga, M.R., Tavares, M. (2002), *Características de paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura*, Encontro "A indústria das tintas no início do século XXI", APTETI, Lisboa, Portugal, 16 p.

Veiga, M.R., Tavares, M., Ferreira, N., Fragata, A., Magalhães, A.C. (2009), *Revestimentos compatíveis para paredes antigas sujeitas a capilaridade ascendente*, PATORREB 2009 - 3º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, FEUP, Porto, Portugal, pp. 833-838.

Vidal, A. (2005), *Solvents Trend. Routes for compliance with VOC regulation*, Eurocoat 2005 - Environnement et Sécurité. Nouvelles Directives Européennes, Lyon, França, Setembro, 20 p.

W

Watt, D. S. (1999), *Building Pathology - Principles & Practice*, Blackwell Science. London, UK.

Wood, K. (2001), *Optimizing the exterior durability of new fluoropolymer coatings*, Progress in Organic Coatings 43(1-3), Elsevier, pp. 207-213.

Wyatt, D.P. (1999), *A Natural progression: neglet to decay*, 8th International Conference on Durability of Buildings Materials and Component (DBMC), Vancouver, Canada, pp. 2126-2135.

Anexos

Anexo I

Ficha de inspecção e diagnóstico - Parte 1

Ficha de inspecção n.º: **Data de inspecção:**

Identificação e características geral do edifício		
Endereço		
Ano de conclusão		
Tipo de envolvente		urbano / rural / marítimo / industrial
Número de fachadas livres		
Número de fachadas pintadas		
Tipologia do edifício		
Função predominante		habitação / serviços / comércio
Número de pisos elevados		
Estrutura do edifício		
Configuração volumétrica do edifício		compacta / irregular
Características gerais da fachada		
Tipo de fachada		principal / lateral / tardoz;
Orientação da fachada		Norte / Sul / Este / Oeste
Área da fachada (em m^2)		
Área pintada da fachada (em m^2)		
Características gerais do revestimento por pintura		
Tipo de produto		
Número de demãos		
Método de aplicação		
Base de aplicação		
Aspecto global	cor	
	brilho	
	textura	
Condições ambientais locais		
Proximidade de fontes poluentes		sim / não
Acção da chuva-vento		suave / moderada / severa
Exposição à humidade		favorável /normal /desfavorável
Proximidade do mar		≤ 1 km / ≤ 5 km / ≥ 5 km
Manutenção		
Tipo de reparação		
Data da última reparação (idade da pintura)		
Identificação das anomalias		

Ficha de inspecção - Parte 2

Identificação e caracterização das anomalias																	
Anomalias existentes (#)		Nível de degradação				Localização (*)						Causas prováveis (-)				Área afectada	Observações relevantes
		1	2	3	4	a	b	c	d	e	f	i	ii	iii	iv		
A	I																
	II																
	III																
	IV																
	V																
B	I																
C	I																
	II																
D	I																
Aspecto global da fachada																	
Inalterado		Bom				Degradação ligeira						Degradação moderada				Degradação generalizada	

Anomalias existentes (#)

A - Manchas e alterações cromáticas
- I - Manchas de origem biológica
- II - Retenção de sujidade
- III - Manchas de humidade
- IV - Alterações de cor e brilho
- V - Eflorescências

B, I - Fissuração

C - Perda de aderência
- I - Empolamento
- II - Destacamento

D, I - Perda de coesão (pulverulência)

Localização (*)

a - Zona corrente da fachada
b - Periferia das janelas / portas
c - Cantos
d - Zona saliente / reentrante
e - Zona térrea
f - Zona superior da fachada

Causas prováveis (-)

i - Factores ambientais
ii - Composição do produto de pintura
iii - Erros de projecto e execução
iv - Características gerais do edifício

Anexo II

Caracterização das zonas e das construções analisadas

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L001	Rua Rossio de Palma n.º 1	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L002	Rua Direita de Palma n.º 10	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1997
L003	Rua Nova de Palma n.º 1	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	1	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1999
L004	Rua Nova de Palma n.º 2	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	1	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1993
L005	Rua Nova de Palma n.º 4	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	1	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1994
L006	Rua Nova de Palma n.º 5	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1998
L007	Rua Nova de Palma n.º 7	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1999
L008	Rua de Campolide n.º 191	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1992
L009	Rua de Campolide n.º 211	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1995
L010	Rua de Campolide n.º 268	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1992
L011	Avenida Álvares Cabral nº 84	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Menos do que 1 km	2009
L012	Rua de São Bernardo n.º 38	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Menos do que 1 km	2010
L013	Avenida 24 de Julho n.º 65	Lisboa	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Menos do que 1 km	2007

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L014	Rua da Rosa n.º 165	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1999
L015	Rua da Rosa n.º 255	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1997
L016	Rua da Rosa n.º 265	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L017	Rua da Rosa n.º 151	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L018	Rua da Rosa n.º 65	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L019	Rua da Rosa n.º 25	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2001
L020	Rua da Rosa n.º 149	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1997
L021	Rua da Rosa n.º 60	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2004
L022	Rua da Rosa n.º 110	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L023	Travessa dos Iglésios n.º 18	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L024	Rua da Rosa n.º 150	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L025	Rua da Rosa n.º 234	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1996
L026	Rua da Rosa n.º 248	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L027	Rua da Rosa n.º 249	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2004
L028	Rua da Rosa n.º 33	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L029	Rua da Rosa n.º 225	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2001
L030	Travessa dos Fiéis de Deus n.º 82	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L031	Rua da Rosa n.º 98	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1996
L032	Rua da Rosa n.º 104	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1999
L033	Rua da Rosa n.º 118	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L034	Rua da Rosa n.º 142	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2006
L035	Rua da Rosa n.º 41	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L036	Rua da Rosa n.º 124	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1993
L037	Rua da Rosa n.º 73	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2004
L038	Rua da Rosa n.º 91	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L039	Rua da Rosa n.º 185	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L040	Rua da Rosa n.º 193	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1999
L041	Rua da Rosa n.º 201	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L042	Rua da Rosa n.º 209	Lisboa	Urbana densa	Serviços	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2004
L043	Rua da Rosa n.º 291	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L044	Rua da Rosa n.º 311	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2007
L045	Rua dos Caetanos n.º 9	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L046	Rua dos Caetanos n.º 7	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L047	Travessa dos Fiéis de Deus n.º 111	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L048	Avenida Duque de Ávila n.º 8	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	7	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2002
L049	Rua António Serpa n.º 34	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	10	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2002
L050	Avenida 5 de Outubro n.º 258	Lisboa	Urbana densa	Serviços	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L051	Rua Ladislau Piçarra n.º 2	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1994
L051	Rua Ladislau Piçarra n.º 6	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1993
L053	Avenida das Forças Armadas, Colégio	Lisboa	Urbana densa	Serviços	Compacta	2	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2002

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
	universitário Pio XII											
L054	Avenida da República n.º 30	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	9	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2008
L055	Rua Chaby Pinheiro n.º 25	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	1995
L056	Rua Dom Luis de Noronha n.º 12	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2009
L057	Travessa da Pereira n.º 1	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L058	Rua do jardim do Tababo n.º 104	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L059	Calçada das Lages n.º 21	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Irregular	12	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2000
L060	Rua Violante do Céu n.º 9	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Mais do que 1 km	1997
L061	Avenida Rainha D. Leonor n.º 36	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	7	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2007
L062	Rua Joaquim Agostinho n.º 14	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	10	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2007
L063	Rua Joaquim Agostinho n.º 16	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	10	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2006
L064	Rua Luís de Freitas Branco n.º 1	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	9	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2000
L065	Rua Luís de Pastor Macedo n.º 23	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	7	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2008
L066	Avenida do Brasil n.º 24	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	9	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2002
L067	Rua Pinto Ferreira n.º 10	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	3	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2002
L068	Rua Casal da Raposa n.º 31	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2007
L069	Rua Tomás da Fonseca n.º 17	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L070	Rua Tomás da Fonseca n.º 19	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L071	Rua Tomás da Fonseca n.º 21	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L072	Rua Tomás da Fonseca n.º 47	Lisboa	Urbana corrente	Habitação / comércio	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L073	Rua Tomás da Fonseca n.º 51	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L074	Rua Tomás da Fonseca n.º 53	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2001
L075	Rua Fernando Lopes Graça n.º 1	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Desfavorável	Mais do que 1 km	2002
L076	Rua da Bombarda n.º 47	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	3	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1995
L077	Rua das Olarias n.º 16	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	4	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	1997
L078	Avenida das Túlipas n.º 16	Oeiras	Urbana corrente	Habitação / comércio	Irregular	9	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2001
L079	Avenida da Républica n.º 39	Oeiras	Urbana corrente	Habitação / comércio	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L080	Avenida dos Bombeiros Voluntários n.º 40	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	13	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L081	Rua Direita do Dafundo n.º 1	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	3	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	1998
L082	Rua João Chagas, Escola João Gonçalves Zarco - Edifício A	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L083	Rua João Chagas, Escola João Gonçalves Zarco - Edifício B	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L084	Rua João Chagas, Escola João Gonçalves Zarco - Edifício D	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L085	Rua João Chagas, Escola João Gonçalves Zarco - Edifício E	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L086	Rua João Chagas, Escola João Gonçalves Zarco - Edifício F	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L087	Rua Manuel da Silva Gaio n.º 2	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Irregular	6	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2000
L088	Rua Bernardo Santareno n.º 13	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2009
L089	Largo Professor Pulido Valente n.º 10	Oeiras	Urbana corrente	Habitação / comércio	Compacta	16	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2000
L090	Rua Casal de Amoreira n.º 31	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2005

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L091	Rua Pedro Hispano n.º 57	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Irregular	7	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L092	Estrada do Cacém, Fábrica de pólvora (muros na Praça do Sol)	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	1999
L093	Estrada do Cacém, Fábrica de pólvora - Edifício A na Praça do Sol	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L094	Estrada do Cacém, Fábrica de pólvora - Edifício B na Praça do Sol	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L095	Estrada do Cacém, Fábrica de pólvora - Edifício C na Praça do Sol	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L096	Rua Mário Castelhano n.º 27	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L097	Rua Mário Castelhano n.º 28	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L098	Rua Mário Castelhano n.º 29	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L099	Rua Mário Castelhano n.º 30	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L100	Rua Mário Castelhano n.º 31	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L101	Rua Mário Castelhano n.º 32	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L102	Rua Mário Castelhano n.º 33	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2004
L103	Avenida do Rio de Janeiro n.º 61	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	6	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2002
L104	Rua da Figueirinha n.º 2	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	4	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2009
L105	Avenida D. João I, Escolas de São Julião da Barra - Edificio A	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L106	Avenida D. João I, Escolas de São Julião da Barra - Edificio B	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L107	Avenida D. João I, Escolas de São Julião da Barra - Edificio C	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2007

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L108	Avenida D. João I, Escolas de São Julião da Barra - Edificio D	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L109	Avenida D. João I, Escolas de São Julião da Barra - Edificio E	Oeiras	Urbana corrente	Serviços	Compacta	1	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2007
L110	Rua Antero de Quental n.º 3	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	1998
L111	Rua Pedro Nunes n.º 12	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	10	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	1998
L112	Rua Paul Harris n.º 5	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	4	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2009
L113	Rua Prof. Egas Moniz n.º 12 .	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	9	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2003
L114	Rua Porto Santo n.º 7	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L115	Rua Francisco Roque de Aguilar n.º 1	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Compacta	4	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2009
L116	Bloco B da Urb. Alto da Barra	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Irregular	8	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	1996
L117	Bloco D da Urb. Alto da Barra	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Irregular	8	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2009
L118	Alameda Quinta da Terrugem (Torres da Quinta da Terrugem)	Oeiras	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	1993
L119	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 1	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L120	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 10	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L121	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 11	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L122	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 2	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L123	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 3	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L124	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 4	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L125	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 5	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L126	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 6	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L127	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 7	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L128	Rua dos Pinheiros 47A Moradia n.º 8	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L129	Vila Marisa	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	4	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2003
L130	Avenida dos Maristas n.º 4	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	14	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2001
L131	Rua Vasco Gama n.º 60	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	8	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	1999
L132	Rua Gil Vicente n.º 13	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Irregular	7	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2002
L133	Avenida 25 de Abril lote 1097	Cascais	Urbana corrente	Habitação / comércio	Irregular	10	Severa	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L134	Rua Dom Carlos n.º 4	Cascais	Urbana corrente	Serviços	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2005
L135	Rua do Pinheiro n.º 8	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2008
L136	Praceta Coronel Santos Pedroso n.º 4	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2006
L137	Rua Infante D. Henrique n.º 165	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	5	Severa	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2002
L138	Rua da Liberdade n.º 66	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2005
L139	Rua 1º Dezembro n.º 31	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2005
L140	Rua Almada Negreiros n.º 263	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	2005
L141	Rua dos Pinheiros n.º 5	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Desfavorável	-	2008
L142	Avª das Larangeiras n.º 12	Amadora	Urbana corrente	Habitação	Compacta	9	Severa	Mais do que 5 km	Desfavorável	Desfavorável	-	2002
L143	Avenida da Quinta Grande n.º 12	Amadora	Urbana corrente	Habitação	Compacta	9	Severa	Mais do que 5 km	Desfavorável	Desfavorável	-	2007
L144	Praça D. Maria II n.º 5	Amadora	Urbana corrente	Habitação	Compacta	15	Severa	Mais do que 5 km	Desfavorável	Desfavorável	-	2001

Designação	Endereço	Concelho	Tipo de envolvente	Função predominante	Configuração volumétrica	Número de pisos elevados	Acção vento/chuva	Proximidade do mar	Humidade	Proximidade fontes poluentes	Proximidade do rio	Data da última pintura/ repintura
L145	Rua da Rosa n.º 137	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	3	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2003
L146	Rua da Rosa n.º 79	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	4	Suave	Entre 1 e 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2002
L147	Rua da Rosa n.º 39	Lisboa	Urbana densa	Habitação	Compacta	5	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2002
L148	Rua da Rosa n.º 19	Lisboa	Urbana densa	Habitação / comércio	Compacta	4	Suave	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Menos do que 1 km	2002
L149	Avenida Luis de Camoes n.º 10	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	11	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2006
L150	Rua Avelar Brotero n.º 2	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	8	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2008
L151	Rua de Cabo Verde n.º 6	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	7	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2009
L152	Rua de Moçambique n.º 80	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	7	Severa	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2009
L153	Rua Marechal Craveiro Lopes n.º 12	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	3	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2005
L154	Rua S. Paulo n.º 107	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2003
L155	Rua S. José n.º 77	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2002
L156	Rua S. José n.º 43	Loures e Odivelas	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	-	2001
L157	Rua Padre Reis Lima n.º 26	Lisboa	Urbana corrente	Habitação	Compacta	2	Moderada	Mais do que 5 km	Corrente	Corrente	Mais do que 1 km	1999
L158	Avenida da República n.º 32	Oeiras	Urbana corrente	Habitação / comércio	Compacta	3	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	1999
L159	Rua de Alvide n.º 128	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	3	Moderada	Menos do que 1 km	Desfavorável	Corrente	-	2001
L160	Rua dos Pinheiros n.º 5 (anexo)	Cascais	Urbana corrente	Habitação	Compacta	1	Moderada	Entre 1 e 5 km	Desfavorável	Corrente	-	1996

Anexo III

Caracterização dos revestimentos inspeccionados

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L001	Oeste	26.3	Lisa tradicional	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	08/09/2010
L002	Sul	29	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	Mate	-	08/09/2010
L003	Este	23.4	Silicatos	Cor-de-rosa claro	Lisa	Mate	-	08/09/2010
L004	Este	19	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	09/09/2010
L005	Este	7	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	09/09/2010
L006	Sul	18	Lisa tradicional	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	09/09/2010
L007	Sul	36.2	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Mate	-	09/09/2010
L008	Este	18.8	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	-	26/08/2010
L009	Este	106.7	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	26/08/2010
L010	Oeste	154.7	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	26/08/2010
L011	Oeste	312.5	Lisa não tradicional (Nano)	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	26/08/2010
L012.1	Sul	144	Texturada	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	27/09/2010
L012.2	Oeste	98.6	Texturada	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	27/09/2010
L013.1	Sul	59.9	Silicone	Branco	Lisa	Mate	-	27/09/2010
L013.2	Oeste	95.9	Silicone	Branco	Lisa	Mate	-	27/09/2010
L014	Este	51.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	28/09/2010
L015	Este	64.1	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	28/09/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L016	Este	41.6	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	29/09/2010
L017	Este	34.7	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	29/09/2010
L018	Este	2.5	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	-	Pintura sobre reboco	29/09/2010
L019	Este	58.2	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	29/09/2010
L020	Este	38.1	Lisa tradicional	Verde claro	Lisa	-	Pintura sobre reboco	13/12/2010
L021	Oeste	24.4	Lisa tradicional	Verde claro	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	13/12/2010
L022	Oeste	64.1	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	13/12/2010
L023	Norte	22	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	14/12/2010
L024	Oeste	89.6	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	14/12/2010
L025	Oeste	71.8	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	13/12/2010
L026	Oeste	41.3	Texturada	Cor-de-rosa escuro	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	14/12/2010
L027	Este	37.7	Lisa tradicional	Branco	Lisa	-	Pintura sobre reboco	25/09/2010
L028	Este	52	Lisa tradicional	Cor-de-rosa escuro	Lisa	-	Pintura sobre reboco	11/10/2010
L029	Este	46.4	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	11/10/2010
L030	Sul	45	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L031	Oeste	70.2	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L032	Oeste	74	Lisa tradicional	Verde claro	Lisa	-	Pintura sobre reboco	13/12/2010
L033	Oeste	53.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	13/12/2010
L034	Oeste	40.8	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L035	Este	33.9	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	25/09/2010
L036	Oeste	68.7	Texturada	Verde claro	Texturada	-	Pintura sobre reboco	11/10/2010
L037	Este	51.4	Texturada	Cor-de-rosa escuro	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	25/09/2010
L038	Este	79.9	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L039	Este	103.4	Texturada	Azul claro	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	23/09/2010
L040	Este	83.8	Lisa tradicional	Verde claro	Lisa	-	Repintura sobre pintura antiga	23/09/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L041	Este	73.6	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	16/09/2010
L042	Este	121	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	-	Pintura sobre reboco	16/09/2010
L043	Este	62.7	Lisa tradicional	Branco	Lisa	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L044	Este	39.8	Texturada	Cor-de-rosa escuro	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	16/09/2010
L045	Este	95.9	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L046	Sul	44	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	20/09/2010
L047	Norte	52.5	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Pintura sobre reboco	23/09/2010
L048.1	Sul	152	Membrana elástica	Azul claro	Texturada	-	-	31/10/2010
L048.2	Oeste	161	Membrana elástica	Azul claro	Texturada	Acetinada	-	31/10/2010
L049	Sul	124	Membrana elástica	Azul claro	Texturada	Mate	-	31/10/2010
L050	Oeste	68.3	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	31/10/2010
L051.1	Oeste	135.9	Texturada	Castanho	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	01/11/2010
L051.2	Norte	60.1	Texturada	Castanho	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	01/11/2010
L052.1	Oeste	59.6	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	01/11/2010
L052.2	Sul	59.6	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	Pintura sobre reboco	01/11/2010
L053	Sul	13.6	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Mate	-	01/11/2010
L054	Oeste	87.1	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	02/11/2010
L055	Este	98.6	Texturada	Castanho	Texturada	Mate	-	02/11/2010
L056.1	Oeste	58.6	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	02/11/2010
L056.2	Norte	27	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	02/11/2010
L057	Norte	116.2	Texturada	Amarelo	Texturada	-	Repintura sobre pintura antiga	06/01/2011
L058	Sul	72.4	Texturada	Cor-de-rosa escuro	Texturada	-	Pintura sobre reboco	06/01/2011
L059	Norte	550	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	06/01/2011
L060	Norte	134	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	-	20/08/2010
L061	Sul	180	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	16/09/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L062	Oeste	47.1	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Semi-mate	-	16/09/2010
L063	Oeste	47.1	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Semi-mate	-	16/09/2010
L064	Norte	218.7	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	16/09/2010
L065	Sul	217	Membrana elástica	Cor-de-rosa claro	Texturada	Mate	-	16/09/2010
L066	Norte	32	Texturada	Castanho	Texturada	Mate	-	17/09/2010
L067.1	Sul	68	Membrana elástica	Azul claro	Texturada	Mate	-	17/09/2010
L067.2	Este	78	Membrana elástica	Azul claro	Texturada	Mate	-	17/09/2010
L068	Norte	64.8	Lisa não tradicional (Pliolite)	Verde claro	Lisa	Mate	-	18/09/2010
L069	Oeste	65	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L070	Oeste	65	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L071	Oeste	65	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L072	Sul	534.4	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L073	Este	215	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L074	Este	215	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	18/09/2010
L075	Norte	160.6	Membrana elástica	Cor-de-rosa claro	Texturada	Mate	-	06/09/2010
L076	Este	66.6	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Acetinada	Pintura sobre reboco	03/12/2010
L077	Oeste	94.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Acetinada	Pintura sobre reboco	03/12/2010
L078.1	Este	129.4	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	04/11/2010
L078.2	Sul	78.6	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	04/11/2010
L078.3	Oeste	64.8	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	04/11/2010
L079	Sul	20.5	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Texturada	Mate	-	04/11/2010
L080	Oeste	114.3	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	04/11/2010
L081.1	Norte	157.2	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	04/11/2010
L081.2	Este	135.7	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	04/11/2010
L082	Norte	100.3	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L083	Oeste	69.8	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L084.1	Sul	55.9	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L084.2	Oeste	72.9	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L085.1	Norte	151.2	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L085.2	Este	158.1	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L085.3	Oeste	72	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	05/11/2010
L086.1	Norte	9.2	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	09/11/2010
L086.2	Este	10.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	09/11/2010
L086.3	Oeste	8.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	09/11/2010
L087.1	Oeste	82.5	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	09/11/2010
L087.2	Norte	208	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Mate	-	06/11/2010
L088.1	Norte	112.3	Membrana elástica	Branco	Lisa	Acetinada	-	06/11/2010
L088.2	Oeste	121.7	Membrana elástica	Branco	Lisa	Acetinada	-	06/11/2010
L088.3	Sul	132.1	Membrana elástica	Branco	Lisa	Acetinada	-	06/11/2010
L089.1	Sul	306.7	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	26/10/2010
L089.2	Oeste	346	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	26/10/2010
L090.1	Oeste	32.7	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	26/10/2010
L090.2	Sul	68.7	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	27/10/2010
L090.3	Este	52.1	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	27/11/2010
L091.1	Norte	101.7	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	27/11/2010
L091.2	Este	157.1	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	27/10/2010
L091.3	Sul	297.45	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	27/10/2010
L092	Este	93.2	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	23/10/2010
L093	Oeste	40.2	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	23/10/2010
L094	Sul	39.1	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	23/10/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L095	Sul	16.6	Silicatos	Amarelo	Lisa	Mate	-	23/10/2010
L096	Este	24	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L097	Este	27.1	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L098	Este	36.1	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L099	Norte	32.2	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L100	Norte	23.1	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L101	Norte	14	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L102	Norte	14	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	04/12/2010
L103	Oeste	91.9	Membrana elástica	Amarelo	Lisa	Mate	-	07/11/2010
L104	Este	51.8	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	-	07/11/2010
L105	Oeste	92.9	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	05/11/2010
L106.1	Norte	41	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	05/11/2010
L106.2	Sul	42	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	05/11/2010
L106.3	Este	63	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	05/11/2010
L107	Norte	74	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	05/11/2010
L108.1	Norte	78	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L108.2	Sul	83	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L109	Norte	16	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L110.1	Norte	54	Membrana elástica	Branco	Texturada	Acetinada	-	08/11/2010
L110.2	Este	52.1	Membrana elástica	Branco	Texturada	Acetinada	-	13/10/2010
L110.3	Oeste	52.2	Membrana elástica	Branco	Texturada	Acetinada	-	13/10/2010
L111	Norte	222.8	Membrana elástica	Castanho	Lisa	Mate	-	13/10/2010
L112.1	Norte	49	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	14/10/2010
L112.2	Oeste	38	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	14/10/2010
L112.3	Sul	25	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	-	14/10/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L113	Sul	206.7	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	14/10/2010
L114	Norte	81.1	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Semi-mate	-	15/10/2010
L115	Este	54	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	-	15/10/2010
L116	Norte	143	Membrana elástica	Castanho	Lisa	Mate	-	13/10/2010
L117	Este	154	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Lisa	Mate	-	13/10/2010
L118.1	Oeste	47.4	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	15/10/2010
L118.2	Sul	36	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	15/10/2010
L119.1	Oeste	25	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L119.2	Sul	22	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L119.3	Este	32	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L120.1	Este	20	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L120.2	Oeste	26	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L121.1	Norte	32	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	01/07/2010
L121.2	Oeste	39	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	02/07/2010
L122.1	Oeste	32	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	02/07/2010
L122.2	Este	25	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	02/07/2010
L123	Oeste	32	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	02/07/2010
L124	Oeste	25	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Texturada	Acetinada	-	02/07/2010
L125	Oeste	32	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010
L126.1	Norte	46	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010
L126.2	Oeste	23	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010
L127.1	Sul	20	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010
L127.2	Oeste	52	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Acetinada		03/07/2010
L128.1	Oeste	32	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010
L128.2	Sul	28	Membrana elástica	Cor-de-rosa escuro	Texturada	Acetinada	-	03/07/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L129	Norte	68.1	Membrana elástica	Cor-de-rosa claro	Lisa	Mate	-	02/11/2010
L130.1	Norte	345.6	Texturada	Branco	Texturada	Acetinada	-	02/11/2010
L130.2	Sul	334.5	Texturada	Branco	Texturada	Acetinada	-	02/11/2010
L130.3	Este	362.7	Texturada	Branco	Texturada	Acetinada	-	02/11/2010
L130.4	Oeste	332.4	Texturada	Branco	Texturada	Acetinada	-	02/11/2010
L131	Este	115.5	Membrana elástica	Amarelo	Lisa	Mate	-	02/11/2010
L132.1	Norte	79.1	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	03/11/2010
L132.2	Sul	120.3	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	03/11/2010
L132.3	Este	137.7	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	03/11/2010
L132.4	Oeste	67.8	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	03/11/2010
L133	Este	222	Lisa tradicional	Cor-de-rosa claro	Lisa	Semi-mate	-	03/11/2010
L134	Sul	33.2	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	06/11/2010
L135	Oeste	19.4	Lisa não tradicional (Nano)	Amarelo	Lisa	Mate	-	06/11/2010
L136	Oeste	20.1	Membrana elástica	Cor-de-rosa claro	Lisa	Acetinada	-	06/11/2010
L137	Este	159	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	06/11/2010
L138.1	Este	18	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L138.2	Norte	44	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L138.3	Sul	36	Membrana elástica	Cor-de-laranja	Lisa	Mate	-	08/11/2010
L139.1	Norte	38	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	08/11/2010
L139.2	Oeste	46.3	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	08/11/2010
L139.3	Este	46.3	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	08/11/2010
L140	Sul	46	Membrana elástica	Amarelo	Lisa	Mate	-	25/11/2010
L141	Este	42.8	Membrana elástica	Amarelo	Lisa	Mate	-	25/11/2010
L141.1	Oeste	36	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	10/11/2010
L141.2	Sul	28	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	10/11/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L142	Sul	357	Membrana elástica	Amarelo	Texturada	Mate	-	01/11/2010
L143	Norte	486	Membrana elástica	Branco	Texturada	Acetinada	-	14/10/2010
L144	Norte	998	Membrana elástica	Branco	Texturada	Mate	-	14/10/2010
L145	Este	47.9	Texturada	Cor-de-rosa claro	Texturada	Mate	Repintura sobre pintura antiga	06/12/2010
L146	Este	52.1	Texturada	Amarelo	Texturada	Mate	Repintura sobre pintura antiga	06/12/2010
L147	Este	51.3	Lisa tradicional	Amarelo	Lisa	Acetinada	Repintura sobre pintura antiga	06/12/2010
L148	Este	45.7	Lisa tradicional	Branco	Lisa	Semi-mate	Pintura sobre reboco	07/12/2010
L149.1	Sul	176.4	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	17/10/2010
L149.2	Oeste	451.4	Lisa não tradicional (Pliolite)	Amarelo	Lisa	Mate	-	17/10/2010
L150.1	Sul	136.8	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	17/10/2010
L150.2	Oeste	205.6	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	17/10/2010
L150.3	Este	201	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	17/10/2010
L151	Oeste	158	Lisa não tradicional (Pliolite)	Castanho	Lisa	Mate	-	18/10/2010
L152.1	Oeste	46.2	Membrana elástica	Castanho	Lisa	Acetinada	-	18/10/2010
L152.2	Este	74	Membrana elástica	Castanho	Lisa	Acetinada	-	18/10/2010
L152.3	Sul	73	Membrana elástica	Castanho	Lisa	Acetinada	-	18/10/2010
L153.1	Oeste	43	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	19/10/2010
L153.2	Este	48	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	19/10/2010
L153.3	Sul	34	Lisa não tradicional (Pliolite)	Branco	Lisa	Mate	-	19/10/2010
L154	Oeste	23.7	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	22/10/2010
L155	Oeste	19	Membrana elástica	Branco	Lisa	Mate	-	22/10/2010
L156	Este	22	Texturada	Branco	Texturada	Mate	-	22/10/2010
L157	Este	23	Texturada	Verde claro	Texturada	Mate	-	25/10/2010
L158.1	Norte	18	Lisa tradicional	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	25/10/2010
L158.2	Oeste	16	Lisa tradicional	Cor-de-rosa escuro	Lisa	Mate	-	25/10/2010

Designação	Orientação da fachada	Área da fachada pintada (m^2)	Tipo de produto	Cor	Textura	Brilho	Preparação do suporte	Data de inspecção
L159	Oeste	145.1	Lisa tradicional	Verde claro	Lisa	Acetinada	-	04/11/2010
L160.1	Sul	10	Texturada	Amarelo	Texturada	Acetinada	-	16/08/2010
L160.2	Sul	40	Texturada	Branco	Texturada	Acetinada	-	16/08/2010

Anexo IV

Caracterização do estado de degradação dos revestimentos

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L001	9	75%	19%
L002	13	165%	41%
L003	11	116%	29%
L004	17	290%	72%
L005	16	256%	64%
L006	12	123%	31%
L007	11	70%	18%
L008	18	229%	57%
L009	15	151%	38%
L010	18	243%	61%
L011	1	0%	0%
L012.1	0	0%	0%
L012.2	0	0%	0%
L013.1	3	9%	2%
L013.2	6	32%	8%
L014	11	103%	26%
L015	13	135%	34%
L016	7	29%	7%
L017	10	89%	22%
L018	7	12%	3%
L019	9	46%	11%
L020	13	207%	52%
L021	6	35%	9%
L022	10	94%	24%
L023	10	44%	11%
L024	7	29%	7%
L025	14	272%	68%
L026	7	41%	10%
L027	6	19%	5%
L028	10	67%	17%
L029	9	78%	19%
L030	15	190%	47%
L031	14	148%	37%
L032	11	118%	30%
L033	10	89%	22%

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L034	4	28%	7%
L035	15	79%	20%
L036	17	248%	62%
L037	6	27%	7%
L038	15	239%	60%
L039	7	49%	12%
L040	11	73%	18%
L041	10	80%	20%
L042	6	27%	7%
L043	15	191%	48%
L044	3	8%	2%
L045	10	61%	15%
L046	10	145%	36%
L047	10	76%	19%
L048.1	8	67%	17%
L048.2	8	39%	10%
L049	8	59%	15%
L050	9	35%	9%
L051.1	16	252%	63%
L051.2	16	157%	39%
L052.1	17	247%	62%
L052.2	17	230%	58%
L053	8	70%	17%
L054	2	2%	0%
L055	15	123%	31%
L056.1	1	1%	0%
L056.2	1	0%	0%
L057	15	132%	33%
L058	15	228%	57%
L059	10	79%	20%
L060	13	69%	17%
L061	3	10%	3%
L062	3	8%	2%
L063	4	16%	4%
L064	10	115%	29%

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L065	2	8%	2%
L066	8	125%	31%
L067.1	8	53%	13%
L067.2	8	33%	8%
L068	3	9%	2%
L069	9	50%	13%
L070	9	50%	13%
L071	9	50%	13%
L072	9	54%	14%
L073	9	50%	13%
L074	9	50%	13%
L075	8	34%	8%
L076	15	181%	45%
L077	13	150%	38%
L078.1	9	73%	18%
L078.2	9	82%	20%
L078.3	9	55%	14%
L079	3	19%	5%
L080	2	7%	2%
L081.1	12	126%	31%
L081.2	12	133%	33%
L082	4	11%	3%
L083	4	15%	4%
L084.1	4	20%	5%
L084.2	4	21%	5%
L085.1	4	12%	3%
L085.2	4	21%	5%
L085.3	4	25%	6%
L086.1	4	42%	11%
L086.2	4	36%	9%
L086.3	4	7%	2%
L087.1	10	93%	23%
L087.2	10	84%	21%
L088.1	1	0%	0%
L088.2	1	0%	0%
L088.3	1	0%	0%
L089.1	10	96%	24%
L089.2	10	65%	16%
L090.1	5	8%	2%
L090.2	5	16%	4%
L090.3	5	9%	2%
L091.1	4	35%	9%
L091.2	4	23%	6%
L091.3	4	17%	4%
L092	11	113%	28%

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L093	3	12%	3%
L094	3	50%	13%
L095	3	50%	13%
L096	6	38%	9%
L097	6	25%	6%
L098	6	17%	4%
L099	6	37%	9%
L100	6	13%	3%
L101	6	31%	8%
L102	6	11%	3%
L103	8	70%	17%
L104	1	0%	0%
L105	3	10%	2%
L106.1	3	5%	1%
L106.2	3	24%	6%
L106.3	3	7%	2%
L107	3	6%	2%
L108.1	3	4%	1%
L108.2	3	17%	4%
L109	3	6%	2%
L110.1	12	72%	18%
L110.2	12	159%	40%
L110.3	12	159%	40%
L111	12	111%	28%
L112.1	1	0%	0%
L112.2	1	0%	0%
L112.3	1	0%	0%
L113	7	37%	9%
L114	4	0%	0%
L115	1	0%	0%
L116	14	253%	63%
L117	1	3%	1%
L118.1	17	232%	58%
L118.2	17	276%	69%
L119.1	2	8%	2%
L119.2	2	6%	1%
L119.3	2	5%	1%
L120.1	2	0%	0%
L120.2	2	0%	0%
L121.1	2	0%	0%
L121.2	2	8%	2%
L122.1	2	0%	0%
L122.2	2	0%	0%
L123	2	5%	1.25%
L124	2	0%	0.00%

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L125	2	0%	0.00%
L126.1	2	5%	1.25%
L126.2	2	0%	0.00%
L127.1	2	0%	0.00%
L127.2	2	4%	1.06%
L128.1	2	0%	0.00%
L128.2	2	13%	3.13%
L129	7	21%	5%
L130.1	9	66%	17%
L130.2	9	75%	19%
L130.3	9	54%	14%
L131	11	107%	27%
L132.3	8	50%	13%
L132.4	8	79%	20%
L133	2	0%	0%
L134	5	0%	0%
L135	2	0%	0%
L136	4	2%	1%
L137	8	52%	13%
L138.1	5	25%	6%
L138.2	5	26%	7%
L138.3	5	50%	13%
L139.1	5	20%	5%
L139.2	5	37%	9%
L139.3	5	25%	6%
L140	5	25%	6%
L141	5	40%	10%
L141.1	2	1%	0%
L141.2	2	0%	0%
L142	8	77%	19%
L143	3	0%	0%
L144	9	75%	19%
L145	7	33%	8%
L146	8	76%	19%
L147	8	70%	18%
L148	8	54%	13%
L149.1	4	17%	4%
L149.2	4	5%	1%
L150.1	2	6%	2%
L150.2	2	1%	0%
L150.3	2	5%	1%
L151	1	0%	0%
L152.1	1	0%	0%
L152.2	1	5%	1%
L152.3	1	6%	1%

Designação	Idade	Extensão ponderada E_w	Severidade S_w
L153.1	5	5%	1%
L153.2	5	1%	0%
L153.3	5	6%	1%
L154	7	52%	13%
L155	8	65%	16%
L156	9	97%	24%
L157	11	53%	13%
L158.1	11	93%	23%
L158.2	11	106%	26%
L159	9	76%	19%
L160.1	14	198%	50%
L160.2	4	15%	4%

Anexo V

Exemplos do levantamento e dos cálculos efectuado

L011

Registos fotográficos

Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	-	-	-	0.7875	312.5	**0.063**
		Manchas de humidade	-	-	-			
		Alterações de cor e brilho	-	-	-			
		Retenção de sujidade	1	3.11	0.7775			
		Eflorescências	2	0.02	0.01			
Fissuração	1.00	Fissuração	-	-	-			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	-	-	-			
		Destacamento	-	-	-			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	.	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 0 onde existe alguma retenção de sujidade uniforme e localizada ligeira (periferia de janelas) e situações pontuais de eflorescências pouco perceptíveis.

L090.2

Registos fotográficos

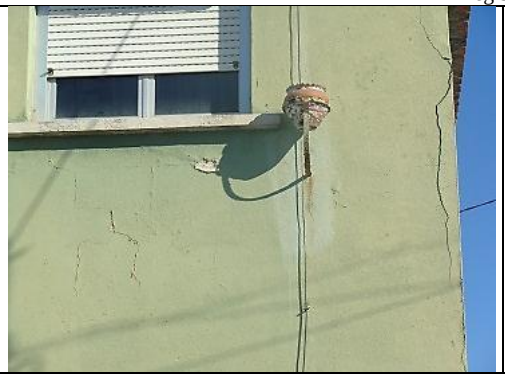
Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de or gem biológica	-	-	-	10.9	68.7	**4.0**
		Manchas de humidade	2	3.2	1.6			
		Alterações de cor e brilho	-	-	-			
		Retenção de sujidade	1	37.2	9.3			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	-	-	-			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	-	-	-			
		Destacamento	-	-	-			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	.	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 1 onde existe sujidade superficial uniforme ligeira (e localizada) e manchas de humidade pouco perceptíveis .

L157

Registos fotográficos



Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	2	1.2	0.6	12.226	23.0	**13.3**
		Manc as de humidade	2	1.4	0.7			
		Alterações de cor e brilho	2	11.5	5.75			
		Retenção de sujidade	1	10.3	2.575			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	2	1.0	2.0			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	-	-	-			
		Destacamento	4	0.1	0.6			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	.	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 2 onde a degradação é devida sobretudo a manchas e alterações cromáticas que constituem alterações de pouco a bastante perceptíveis (consoante a anomalia), existindo casos pontuais de fissuração moderada e destacamentos de dimensão superior a 5 cm

L057 (*1)

Registos fotográficos

Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	-	-	-	153.935	116.2	**33.1**
		Manchas de humidade	-	-	-			
		Alterações de cor e brilho	2	116.2	58.1			
		Retenção de sujidade	3	86.7	65.025			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	4	3.2	12.8			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	4	1.9	11.4			
		Destacamento	4	1.1	6.6			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	-	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 3 onde 80% da degradação é devida a manchas e alterações cromáticas (alterações de cor e brilho bastante perceptíveis e sujidade superficial uniforme elevada), 8% a fissuração de padrão denso e 12% a perdas de aderência (empolamentos de padrão denso e destacamentos de dimensão superior a 5cm) em áreas significativas da fachada.

L015 ([*1])

Registos fotográficos

Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	-	-	-	86.7192	64.1	**33.8**
		Manchas de humidade	-	-	-			
		Alterações de cor e brilho	3	32.1	24.075			
		Retenção de sujidade	3	64.1	48.075			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	2	6.0	12.0			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	4	0.3	1.80			
		Destacamento	4	0.1282	0.7692			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	.	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 3 onde 83% da degradação é devida a manchas e alterações cromáticas (alterações de cor e brilho pronunciadas e sujidade superficial uniforme elevada), 14% a fissuração moderada e 3% a perdas de aderência (empolamentos e destacamentos de dimensão superior a 5cm) com áreas bastante reduzidas.

([*1]) Os casos de estudo L057 e L015 pretendem ilustrar duas situações distintas: uma (L057) em que existem perdas de aderência significativas e outra (L015) em que as perdas de aderência são residuais, apesar de se chegar a um nível de degradação semelhante (33% e 34%, respectivamente). Por outro lado, estes casos pretendem também revelar a influência da cor na percepção da degradação: no caso L057 é mais difícil distinguir fotográfica e visualmente a retenção de sujidade devido à cor da fachada, no entanto esta está presente sob a forma de alterações pronunciadas (mais óbvias no caso L015).

L058 (*2)

Registos fotográficos

Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
MManchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	-	-	-	164.877	72.4	**56.9**
		Manchas de humidade	3	8.9	6.675			
		Alterações de cor e brilho	3	72.4	54.3			
		Retenção de sujidade	2	30.3	15.15			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	3	2.3	6.9			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	4	3.8	22.8			
		Destacamento	4	5.792	34.752			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	3	8.1	24.3			

Descrição: Caso de estudo de nível 4 onde 46% da degradação é devida a manchas e alterações cromáticas (alterações de cor e brilho pronunciadas, manchas de humidade sujidade superficial uniforme bastante perceptíveis), 4% a fissuração de quantidade elevada e 50% a perdas de aderência (empolamentos e destacamentos de padrão denso e dimensão superior a 5cm) com áreas muito significativas. Desta forma, a degradação da fachada é devida maioritariamente a perdas de aderência e fissuração.

L038 (*2)

Registos fotográficos

Cálculo da severidade de degradação normalizada

Tipo de anomalias	Coeficiente de ponderação por tipo de anomalia ($k_{a,n}$)	Anomalia	Nível de degradação de cada anomalia (k_i)	Área afectada por anomalia em m^2 (A_i)	$A_i \times k_i \times k_{a,n}$ em m^2	$\sum A_i \times k_i \times k_{a,i}$ em m^2	Área de RPP em m^2 (A)	Severidade em % (S_w)
Manchas e alterações cromáticas	0.25	Manchas de origem biológica	4	1.50	1.5	190.8588	79.9	**59.7**
		Manchas de humidade	2	0.60	0.3			
		Alterações de cor e brilho	3	79.90	59.925			
		Retenção de sujidade	3	79.90	59.925			
		Eflorescências	-	-	-			
Fissuração	1.00	Fissuração	3	22.00	66.00			
Perda de aderência	1.50	Empolamento	3	0.50	2.25			
		Destacamento	4	0.16	0.9588			
Perda de coesão	1.00	Pulverulência	.	-	-			

Descrição: Caso de estudo de nível 4 onde 64% da degradação é devida a manchas e alterações cromáticas (manchas de origem biológica e alterações de cor e brilho pronunciadas, manchas de humidade pouco perceptíveis e sujidade superficial uniforme pronunciada), 35% a fissuração de quantidade elevada e 2% a perdas de aderência (empolamentos em pouca quantidade e dimensão entre 3 e 5 cm e destacamentos pontuais de dimensão superior a 5cm) com áreas muito reduzidas. Desta forma, a degradação da fachada é devida maioritariamente a manchas / alterações cromáticas e fissuração.

(*2) Os casos de estudo L058 e L038 pretendem ilustrar duas situações de degradação distintas: para um nível de degradação semelhante (57% e 60%, respectivamente), no caso L058 está sobretudo em causa a protecção do substrato (perdas de aderência e fissuração), enquanto que no caso L038 está sobretudo em causa a perda de qualidade estética da fachada (manchas e alterações cromáticas). Neste caso, pode-se assim associar a cada fachada o critério de desempenho que deixa de ser cumprido: critério de funcionalidade, no primeiro (L058), e critério de aparência, no segundo (L038). Neste ponto interessa referir que, quando as

pinturas têm a mesma cor do que o substrato, torna-se mais difícil distinguir fotográfica e visualmente as anomalias as tipo perdas de aderência; esta situação é particularmente sensível no caso L038 (fotografia do destacamento à direita, comparativamente ao caso L058, em que o contraste é muito maior). Por fim, assim como no caso L057 (nível 3), no caso L038, devido à cor da fachada, é mais difícil distinguir as anomalias presentes; no entanto, a campanha visual referente a este caso de estudo revelou uma fachada fortemente degradada, o que se encontra de acordo com o valor elevado da severidade posteriormente calculado.

Anexo VI

Resultados estimados para a severidade pelo modelo de regressão múltipla linear

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($y_i^* - y_i$)/ σ
1	L001	0.186787	0.226186	-0.039398	-0.560687
2	L002	0.413147	0.367321	0.045826	0.652156
3	L003	0.290598	0.264193	0.026405	0.375777
4	L004	0.724474	0.475896	0.248578	3.537557
5	L005	0.641071	0.440612	0.200459	2.852774
6	L006	0.306250	0.332037	-0.025787	-0.366978
7	L007	0.175035	0.296753	-0.121719	-1.732199
8	L008	0.572739	0.511180	0.061560	0.876068
9	L009	0.377870	0.405328	-0.027458	-0.390760
10	L010	0.608355	0.543740	0.064615	0.919552
11	L011	0.000630	-0.056085	0.056715	0.807118
12	L012.1	0.000000	-0.091369	0.091369	1.300282
13	L012.2	0.000000	-0.091369	0.091369	1.300282
14	L013.1	0.023268	0.014483	0.008785	0.125023
15	L013.2	0.080852	0.120334	-0.039482	-0.561872
16	L014	0.257282	0.264193	-0.006912	-0.098359
17	L015	0.338218	0.334761	0.003458	0.049208
18	L016	0.072115	0.123058	-0.050943	-0.724973
19	L017	0.222226	0.228909	-0.006683	-0.095108
20	L018	0.030000	0.123058	-0.093058	-1.324325
21	L019	0.114871	0.193626	-0.078754	-1.120768
22	L020	0.518209	0.334761	0.183448	2.610682
23	L021	0.087602	0.120334	-0.032732	-0.465811
24	L022	0.235706	0.261469	-0.025763	-0.366644
25	L023	0.110795	0.225653	-0.114858	-1.634563
26	L024	0.072335	0.155618	-0.083283	-1.185210
27	L025	0.680233	0.402604	0.277628	3.950977
28	L026	0.101668	0.155618	-0.053950	-0.767768
29	L027	0.048044	0.087774	-0.039730	-0.565411
30	L028	0.168269	0.228909	-0.060640	-0.862980
31	L029	0.193791	0.193626	0.000165	0.002354
32	L030	0.474167	0.437888	0.036278	0.516285
33	L031	0.370370	0.402604	-0.032234	-0.458729
34	L032	0.295608	0.296753	-0.001145	-0.016295
35	L033	0.223715	0.261469	-0.037754	-0.537289
36	L034	0.070466	0.049767	0.020699	0.294572

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($y_i^* - y_i$)/ σ
37	L035	0.196743	0.405328	-0.208585	-2.968409
38	L036	0.619360	0.508456	0.110904	1.578291
39	L037	0.068093	0.087774	-0.019681	-0.280081
40	L038	0.597180	0.405328	0.191852	2.730281
41	L039	0.122824	0.123058	-0.000234	-0.003330
42	L040	0.183696	0.264193	-0.080497	-1.145565
43	L041	0.200238	0.228909	-0.028672	-0.408030
44	L042	0.068182	0.087774	-0.019592	-0.278823
45	L043	0.478726	0.405328	0.073397	1.044532
46	L044	0.020101	-0.018077	0.038178	0.543313
47	L045	0.152437	0.228909	-0.076472	-1.088285
48	L046	0.361364	0.261469	0.099894	1.421614
49	L047	0.189405	0.225653	-0.036249	-0.515860
50	L048.1	0.166530	0.190902	-0.024372	-0.346844
51	L048.2	0.097826	0.190902	-0.093076	-1.324577
52	L049	0.147681	0.190902	-0.043220	-0.615076
53	L050	0.087775	0.226186	-0.138411	-1.969752
54	L051.1	0.630855	0.473172	0.157683	2.244016
55	L051.2	0.392783	0.437356	-0.044573	-0.634329
56	L052.1	0.617668	0.508456	0.109212	1.554216
57	L052.2	0.575457	0.508456	0.067001	0.953509
58	L053	0.174265	0.190902	-0.016637	-0.236765
59	L054	0.004162	-0.020801	0.024963	0.355251
60	L055	0.308329	0.405328	-0.096999	-1.380412
61	L056.1	0.002240	-0.056085	0.058324	0.830026
62	L056.2	0.000463	-0.091901	0.092364	1.314445
63	L057	0.331164	0.402072	-0.070908	-1.009109
64	L058	0.569327	0.437888	0.131438	1.870524
65	L059	0.197273	0.225653	-0.028381	-0.403889
66	L060	0.171530	0.331505	-0.159975	-2.276631
67	L061	0.025000	0.014483	0.010517	0.149672
68	L062	0.019108	0.014483	0.004625	0.065826
69	L063	0.041136	0.049767	-0.008631	-0.122826
70	L064	0.286345	0.225653	0.060692	0.863721
71	L065	0.020795	-0.020801	0.041596	0.591959
72	L066	0.312500	0.155086	0.157414	2.240191
73	L067.1	0.133088	0.190902	-0.057814	-0.822755
74	L067.2	0.082692	0.158342	-0.075649	-1.076581
75	L068	0.022569	-0.021333	0.043903	0.624786
76	L069	0.125000	0.226186	-0.101186	-1.439990
77	L070	0.125000	0.226186	-0.101186	-1.439990
78	L071	0.125000	0.226186	-0.101186	-1.439990
79	L072	0.135690	0.226186	-0.090496	-1.287865

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($y_i^* - y_i$)/ σ
80	L073	0.125000	0.193626	-0.068626	-0.976622
81	L074	0.125000	0.193626	-0.068626	-0.976622
82	L075	0.084021	0.155086	-0.071065	-1.011337
83	L076	0.452847	0.405328	0.047519	0.676246
84	L077	0.375661	0.367321	0.008341	0.118698
85	L078.1	0.182148	0.209736	-0.027587	-0.392602
86	L078.2	0.204803	0.242296	-0.037493	-0.533570
87	L078.3	0.138600	0.242296	-0.103696	-1.475720
88	L079	0.048171	0.030593	0.017578	0.250150
89	L080	0.018646	0.000679	0.017967	0.255687
90	L081.1	0.314885	0.317701	-0.002816	-0.040071
91	L081.2	0.332378	0.320957	0.011421	0.162537
92	L082	0.027854	0.035431	-0.007577	-0.107830
93	L083	0.036533	0.071247	-0.034714	-0.494022
94	L084.1	0.050984	0.071247	-0.020263	-0.288368
95	L084.2	0.053069	0.071247	-0.018178	-0.258690
96	L085.1	0.029431	0.035431	-0.006000	-0.085384
97	L085.2	0.051471	0.038687	0.012784	0.181926
98	L085.3	0.061458	0.071247	-0.009789	-0.139304
99	L086.1	0.105571	0.035431	0.070140	0.998171
100	L086.2	0.090476	0.038687	0.051789	0.737022
101	L086.3	0.017647	0.071247	-0.053600	-0.762790
102	L087.1	0.231288	0.277580	-0.046292	-0.658786
103	L087.2	0.209435	0.241764	-0.032328	-0.460073
104	L088.1	0.000000	-0.075790	0.075790	1.078588
105	L088.2	0.000000	-0.039974	0.039974	0.568884
106	L088.3	0.000000	-0.039974	0.039974	0.568884
107	L089.1	0.238772	0.277580	-0.038808	-0.552284
108	L089.2	0.163114	0.277580	-0.114465	-1.628978
109	L090.1	0.019304	0.101161	-0.081856	-1.164913
110	L090.2	0.039665	0.101161	-0.061495	-0.875153
111	L090.3	0.023393	0.068601	-0.045208	-0.643365
112	L091.1	0.087266	0.030061	0.057206	0.814103
113	L091.2	0.056731	0.033317	0.023414	0.333216
114	L091.3	0.041646	0.065877	-0.024231	-0.344839
115	L092	0.281384	0.280303	0.001081	0.015380
116	L093	0.031095	0.030593	0.000501	0.007136
117	L094	0.125000	0.030593	0.094407	1.343522
118	L095	0.125000	0.030593	0.094407	1.343522
119	L096	0.093750	0.103884	-0.010134	-0.144225
120	L097	0.062731	0.103884	-0.041154	-0.585668
121	L098	0.041898	0.103884	-0.061987	-0.882147
122	L099	0.093168	0.100628	-0.007461	-0.106175

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($y_i^* - y_i$)/ σ
123	L100	0.033279	0.100628	-0.067349	-0.958459
124	L101	0.078571	0.100628	-0.022057	-0.313897
125	L102	0.026518	0.100628	-0.074111	-1.054681
126	L103	0.173957	0.212382	-0.038425	-0.546832
127	L104	0.000000	-0.067164	0.067164	0.955829
128	L105	0.024085	0.035963	-0.011878	-0.169040
129	L106.1	0.012332	0.000147	0.012185	0.173409
130	L106.2	0.060893	0.035963	0.024930	0.354779
131	L106.3	0.016369	0.003403	0.012966	0.184519
132	L107	0.015034	0.000147	0.014887	0.211854
133	L108.1	0.010577	0.000147	0.010430	0.148427
134	L108.2	0.041837	0.035963	0.005874	0.083596
135	L109	0.015625	0.000147	0.015478	0.220268
136	L110.1	0.179745	0.312331	-0.132586	-1.886852
137	L110.2	0.396353	0.315587	0.080766	1.149396
138	L110.3	0.397270	0.348147	0.049123	0.699078
139	L111	0.276846	0.312331	-0.035485	-0.504998
140	L112.1	0.000000	-0.075790	0.075790	1.078588
141	L112.2	0.000000	-0.039974	0.039974	0.568884
142	L112.3	0.000000	-0.039974	0.039974	0.568884
143	L113	0.092465	0.171728	-0.079263	-1.128011
144	L114	0.000000	0.035431	-0.035431	-0.504225
145	L115	0.000000	-0.067164	0.067164	0.955829
146	L116	0.632255	0.388269	0.243986	3.472215
147	L117	0.008117	-0.067164	0.075281	1.071341
148	L118.1	0.579641	0.529936	0.049705	0.707364
149	L118.2	0.689722	0.529936	0.159786	2.273945
150	L119.1	0.020000	-0.004691	0.024691	0.351378
151	L119.2	0.014205	-0.004691	0.018895	0.268901
152	L119.3	0.011719	-0.037251	0.048969	0.696893
153	L120.1	0.000000	-0.037251	0.037251	0.530121
154	L120.2	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
155	L121.1	0.000000	-0.040507	0.040507	0.576458
156	L121.2	0.020897	-0.004691	0.025588	0.364149
157	L122.1	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
158	L122.2	0.000000	-0.037251	0.037251	0.530121
159	L123	0.012500	-0.004691	0.017191	0.244644
160	L124	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
161	L125	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
162	L126.1	0.012500	-0.040507	0.053007	0.754348
163	L126.2	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
164	L127.1	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
165	L127.2	0.010577	-0.004691	0.015268	0.217276

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($y_i^* - y_i$)/ σ
166	L128.1	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
167	L128.2	0.031250	-0.004691	0.035941	0.511478
168	L129	0.053322	0.141282	-0.087960	-1.251775
169	L130.1	0.165365	0.211850	-0.046485	-0.661541
170	L130.2	0.187500	0.247666	-0.060166	-0.856232
171	L130.3	0.135804	0.215106	-0.079302	-1.128554
172	L130.4	0.180505	0.247666	-0.067160	-0.955773
173	L131	0.267684	0.285673	-0.017989	-0.256011
174	L132.1	0.125000	0.176566	-0.051566	-0.733847
175	L132.2	0.254572	0.212382	0.042190	0.600411
176	L132.3	0.125000	0.179822	-0.054822	-0.780183
177	L132.4	0.197824	0.212382	-0.014558	-0.207172
178	L133	0.000000	-0.031881	0.031881	0.453699
179	L134	0.000000	0.101161	-0.101161	-1.439636
180	L135	0.000000	0.000679	-0.000679	-0.009669
181	L136	0.006219	0.071247	-0.065028	-0.925426
182	L137	0.130660	0.174452	-0.043792	-0.623207
183	L138.1	0.062500	0.068601	-0.006101	-0.086820
184	L138.2	0.065341	0.065345	-0.000004	-0.000053
185	L138.3	0.125000	0.101161	0.023839	0.339262
186	L139.1	0.050987	0.065345	-0.014358	-0.204329
187	L139.2	0.091793	0.101161	-0.009368	-0.133318
188	L139.3	0.062365	0.068601	-0.006236	-0.088741
189	L140	0.062500	0.101161	-0.038661	-0.550187
190	L141	0.099299	0.068601	0.030698	0.436875
191	L141.1	0.003472	-0.004691	0.008163	0.116168
192	L141.2	0.000000	-0.004691	0.004691	0.066754
193	L142	0.192122	0.190902	0.001220	0.017363
194	L143	0.000437	-0.021333	0.021770	0.309819
195	L144	0.187951	0.190370	-0.002419	-0.034420
196	L145	0.082855	0.123058	-0.040203	-0.572137
197	L146	0.190379	0.174452	0.015927	0.226661
198	L147	0.175233	0.158342	0.016891	0.240382
199	L148	0.134081	0.158342	-0.024261	-0.345260
200	L149.1	0.041681	0.049767	-0.008086	-0.115070
201	L149.2	0.012489	0.049767	-0.037278	-0.530506
202	L150.1	0.016082	-0.020801	0.036883	0.524886
203	L150.2	0.002341	-0.020801	0.023142	0.329333
204	L150.3	0.011878	-0.053361	0.065239	0.928429
205	L151	0.000000	-0.056085	0.056085	0.798152
206	L152.1	0.000000	-0.056085	0.056085	0.798152
207	L152.2	0.013514	-0.088645	0.102158	1.453833
208	L152.3	0.014298	-0.056085	0.070383	1.001629

Observação	Designação	y observado (y_i^*)	y previsto (y_i)	Residuais ($y_i^* - y_i$)	Residuais-padrão ($(y_i^* - y_i)/\sigma$)
209	L153.1	0.013081	0.085050	-0.071969	-1.024204
210	L153.2	0.002604	0.052490	-0.049886	-0.709940
211	L153.3	0.014706	0.085050	-0.070345	-1.001086
212	L154	0.130802	0.155618	-0.024816	-0.353165
213	L155	0.161842	0.190902	-0.029060	-0.413553
214	L156	0.241477	0.193626	0.047852	0.680987
215	L157	0.132880	0.264193	-0.131313	-1.868734
216	L158.1	0.233333	0.277047	-0.043714	-0.622102
217	L158.2	0.264844	0.312863	-0.048020	-0.683376
218	L159	0.189955	0.247666	-0.057711	-0.821291
219	L160.1	0.495000	0.418715	0.076285	1.085630
220	L160.2	0.037500	0.065877	-0.028377	-0.403837